

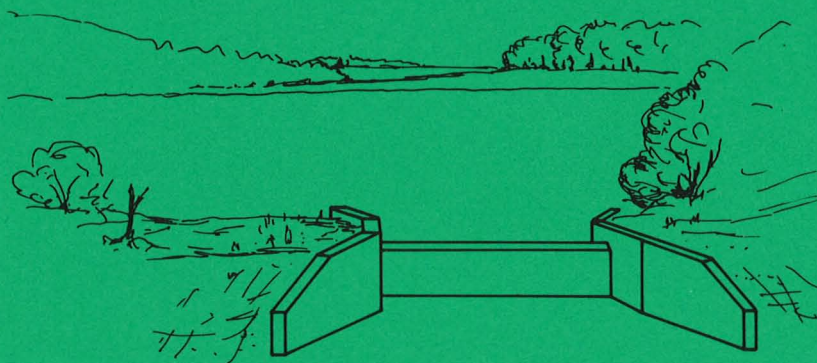


**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

VATTENMAGASIN FÖR BEVATTNING

WATER STORAGE STRUCTURES FOR IRRIGATION

Ragnar Persson



**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Rapport 139
Report**

Uppsala 1984

ISSN 0348-1816

ISBN 91-576-1945-X

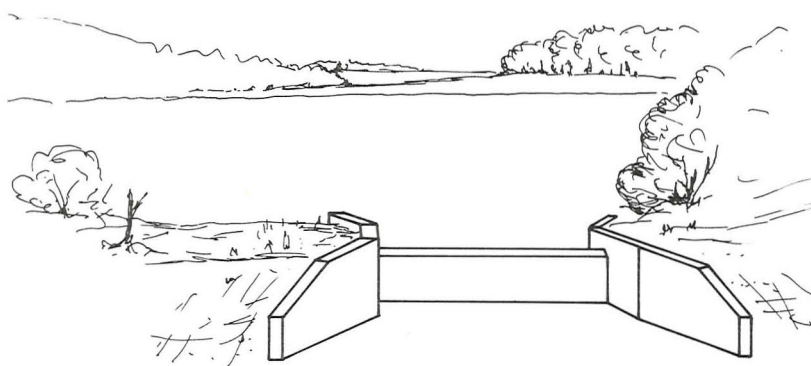


**SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET**

VATTENMAGASIN FÖR BEVATTNING

WATER STORAGE STRUCTURES FOR IRRIGATION

Ragnar Persson



**Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik**

**Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Soil Sciences
Division of Agricultural Hydrotechnics**

**Rapport 139
Report**

Uppsala 1984

ISSN 0348-1816

ISBN 91-576-1945-X

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	FÖRORD	
	INNEHÅLLSÖVERSIKT	5
	ABSTRACT	5
1	INLEDNING	7
2	OLIKA TYPER AV VATTENMAGASIN	7
3	FÖRUNDESRÖKNINGAR	9
3.1	Allmänt orienterande undersökningar	9
3.2	Ytavvägning	10
3.3	Geoteknisk utredning	11
3.4	Hydrologisk utredning	12
3.4.1	Erforderlig magasinstorlek	12
3.4.2	Vattentillgången	20
3.4.3	Dimensionering av fyllningsanordningar	21
3.4.4	Dimensionerande högvattenföring	22
4	PREPARERING AV BASSÄNGBOTTNEN	25
5	FÖRDÄMNINGSVALLEN	26
5.1	Allmänna krav på en fördämning	26
5.2	Inre erosion	27
5.3	Grundläggningsåtgärder	28
5.4	Vallbyggnadsmaterial	32
5.5	Packning av jordmaterial	33
5.6	Vallens stabilitet	35
5.7	Tätning av vällen	38
5.8	Vallens yttre utformning	41
5.8.1	Fribord	41
5.8.2	Krönbredd	41
5.8.3	Släntlutningar	42
5.8.4	Erosionsskydd	43
6	AVBÖRDNINGSANORDNINGAR	43
6.1	Bottenutskov	44
6.2	Bräddavlopp	48
6.2.1	Öppet överfallsvärn	48
6.2.2	Bräddavlopp med kulvert genom fördämningsvallen	52
6.2.3	Sekundärt bräddavlopp	55
	LITTERATUR	56
Bilaga 1	Empiriskt formelsystem för skattning av dimensionerande högvattenföring vid låg risknivå	5 s.

FÖRORD

Vårt land har goda vattentillgångar. Trots detta har den ökade bevattningen förorsakat oro och konflikter på grund av vattenåtgången. Bevattningen har som bekant den egenheten, att den är mest aktuell när vattentillgången är som sämst. Följden har blivit skärpt lagstiftning ifråga om uttag av vatten liksom utredningsarbete om lämpliga åtgärder för vattenplanering.

Att planera och fördela när vattentillgången är knapp fordrar stor administrativ insats men ger i regel liten utdelning för den som behöver vatten. Mot denna bakgrund har här föreliggande arbete om magasinering av vatten tillkommit. Förutsättningarna att ta ut ytvatten är ofta förvånande goda, om uttagen görs under flödesperioder.

Arbetet har utförts av agronom Ragnar Persson. Agr.l.c. Anders Bjerketorp har bistått med värdefull hydrologisk sakkunskap och oegennyttigt ställt opublicerade forskningsresultat till förfogande, bl.a. vid framtagning av underlag för dimensionering av bräddavlopp. Ingenjör Hans Johansson har med sedvanlig noggrannhet framställt det omfattande figurmaterialet och Margit Zetterberg har som sekreterare nedlagt ett omsorgsfullt arbete med renskrift och arrangemang av text och figurer.

Arbetet har utförts med stöd av medel från Lantbrukets fond. Genom samverkan med försöksavdelningen för lantbrukets hydroteknik vid Sveriges Lantbruksuniversitet har arbetet kunnat göras mera omfattande än ursprungligen planerats.

Uppsala den 10 april 1984

August Håkansson

INNEHÅLLSÖVERSIKT

Uppsatsen behandlar planering, utformning och konstruktion av vattenmagasin för bevattning. Efter en översiktlig beskrivning av olika sätt att anlägga ett magasin följer ett avsnitt om de geotekniska och hydrologiska förundersökningar som erfordras för projektering av fördämningar och bräddavlopp m.m. Bland annat ges här exempel på hur man vid dimensioneringen av magasinet kan skatta läckage och avdunstning från bassängen. Förslag lämnas också till hur man kan beräkna den dimensionerande vattenföringen för erforderliga bräddavlopp. Fortsättningsvis behandlas de krav man bör ställa på fördämningsvall och grund från såväl stabilitets- som täthetssynpunkt samt hur dessa krav kan mötas. Olika vallkonstruktioner, byggnadsmaterial och packningsmetoder belyses. Till sist diskuteras utformningen av bottenutskov och bräddavlopp. Här kommenteras t.ex. Poleni formel för dimensionering av överfallsvärn med olika hydraulisk utformning.

Ämnesord: Vatten för bevattning; vattenbassänger; dammar; avbördningsanordningar; dimensionerande vattenföring; grundundersökningar; vattentillgång.

ABSTRACT

The report discusses planning, design and construction of water storage structures for irrigation. It opens with a brief description of some different possibilities for water storage, followed by a chapter on site investigations and hydrological studies. This chapter includes, for instance, advice on calculating the necessary reservoir capacity and suggestions for estimating the design flood for overflow arrangements. Requirements concerning stability and permeability of the embankment and its foundation are also discussed. Different constructions of earth embankments are considered, as well as construction materials and compaction methods. The final chapter deals with bottom outlet pipes and overflow arrangements. Special attention is given to the discharge coefficient of the Poleni formula used in designing overflow weirs.

Keywords: Irrigation water; water reservoirs; dams; hydraulic structures; design flood; site investigations; water yield.

1. INLEDNING

Tillgången på ytvatten för bevattning är i många områden mycket begränsad under sommarmånaderna. Detta gäller särskilt somrar med liten nederbörd och torr, varm väderlek. Vissa mindre vattendrag ligger då mer eller mindre torrlagda under den period då bevattningsbehovet är som störst. Under våta höstar och vid snösmältningen på våren flödar dock i regel vattnet i diken, bäckar och åar, vatten som man genom att anlägga vattenmagasin skulle kunna utnyttja under bevattningssäsongen.

För många lantbrukare kan magasinering av vårens vattenöverskott vara enda möjligheten att få tillgång till bevattningsvattnet. Genom magasineringsåtgärder kan konkurrensen om vattnet minskas. Konflikter med andra vattenintressenter kan i vissa fall ersättas av samverkan om gemensamma magasineringsanläggningar.

Från naturvårdssynpunkt brukar tillskapandet av nya vattenområden i annars sjöfattiga landskap betraktas som något positivt. Det är dock väsentligt att utformning av fördämningsvallar m.m. görs på ett sådant sätt, att anläggningen diskret smälter in i landskapet.

Då man anlägger dammar och stänger in stora vattenmängder måste man betänka de konsekvenser som ett eventuellt dammgengombrott skulle medföra för områden nedströms. Noggranna och till förhållandena anpassade förundersökningar är en förutsättning för att man vid projekteringsarbetet skall kunna utforma och dimensionera fördämningsvallar och avbördningsanordningar så att de till rimlig kostnad uppfyller kraven på säkerhet och funktion.

Denna uppsats avser att belysa olika moment av planeringsarbete och förundersökningar vid anläggning av vattenmagasin samt att ge synpunkter beträffande vallbyggnadsmaterial, vallkonstruktioner och olika typer av avbördningsanordningar.

2. OLIKA TYPER AV VATTENMAGASIN

Vattenmagasin för bevattningsändamål kan skapas på olika sätt, t.ex. genom sjöreglering, genom uppdämning i vattendrag eller genom att vatten leds till en bassäng som ej genomflytes av något vattendrag.

Sjöreglering i syfte att magasinera bevattningsvattnet innebär att vattenståndet i en sjö hålls uppe från högvattenperioden på våren fram till bevattnings-

säsongen. För regleringen krävs en dammanläggning vid sjöns utlopp, fig. 1a. Ofta räcker det att reglera vattenståndet några få decimeter för att erhålla tillräcklig magasinvolym.

Damm i vattendrag. Genom att uppföra en damm i ett mindre vattendrag kan man vanligen med ganska små insatser erhålla ett tillräckligt vattenmagasin, fig. 1b. Dammen kan i de flesta fall med fördel konstrueras av jordfyllning. Av kostnadsskäl bör huvuddelen av byggnadsmaterialet finnas tillgängligt på platsen. Kan fyllningsmassorna tas från området närmast uppströms dammläget så att bassängen därigenom breddas eller fördjupas, är detta vanligtvis fördelaktigt.

Dammen bör förses med ett rejält och väl dimensionerat bräddavlopp, avsett att leda vattenströmmen förbi dammen då dammbassängen är fylld. Vidare bör den ha ett bottenutskov så att en viss minimivattenföring kan släppas fram till vattendraget nedströms dammen. Bottenutskovet ger också möjlighet till att tömma dammbassängen helt för reparation eller underhåll. För att kostnaderna för bräddavloppet inte skall bli oöverstigliga bör tillrinningsområdet till dammen inte vara alltför stort i förhållande till den erforderliga magasinvolymen. Skulle så vara fallet bör man i stället undersöka möjligheterna att dämna i ett mindre biflöde eller leda in vattnet till en bassäng helt vid sidan av vattendragets strömfåra.

Friliggande bassäng. Om förutsättningarna inte medger uppdämning i ett vattendrag eller höjning av vattenståndet i en sjö kan det vara aktuellt att bygga en friliggande bassäng. Med friliggande avses här att vattenmagasinet inte genomflytes av något vattendrag, fig. 1c, d och e. Bassängen skapas genom att ett område schaktas ur och att vallar kring området byggs av schaktmassorna.

För att fylla ett friliggande magasin krävs vanligen att vatten från ett vattendrag eller en kanal pumpas över eller genom vallen in i bassängen. I vissa fall kan dock bassängen placeras så lågt, att den under högvattenperioder kan fyllas genom självfall, fig. 1d. Höjdskillnader i terrängen kan ibland utnyttjas som visas i fig. 1e. Bassängen fylls här genom självfall i en kanal eller rörledning från en högt belägen uttagspunkt i vattendraget.

Små friliggande bassänger används också ofta som ansamlingsmagasin vid grundvattenuttag i de fall då uppfodringskapaciteten eller de rättsliga möjligheterna att ta ut stora mängder grundvatten per dygn annars skulle begränsa bevattningsanläggningens utnyttjande.

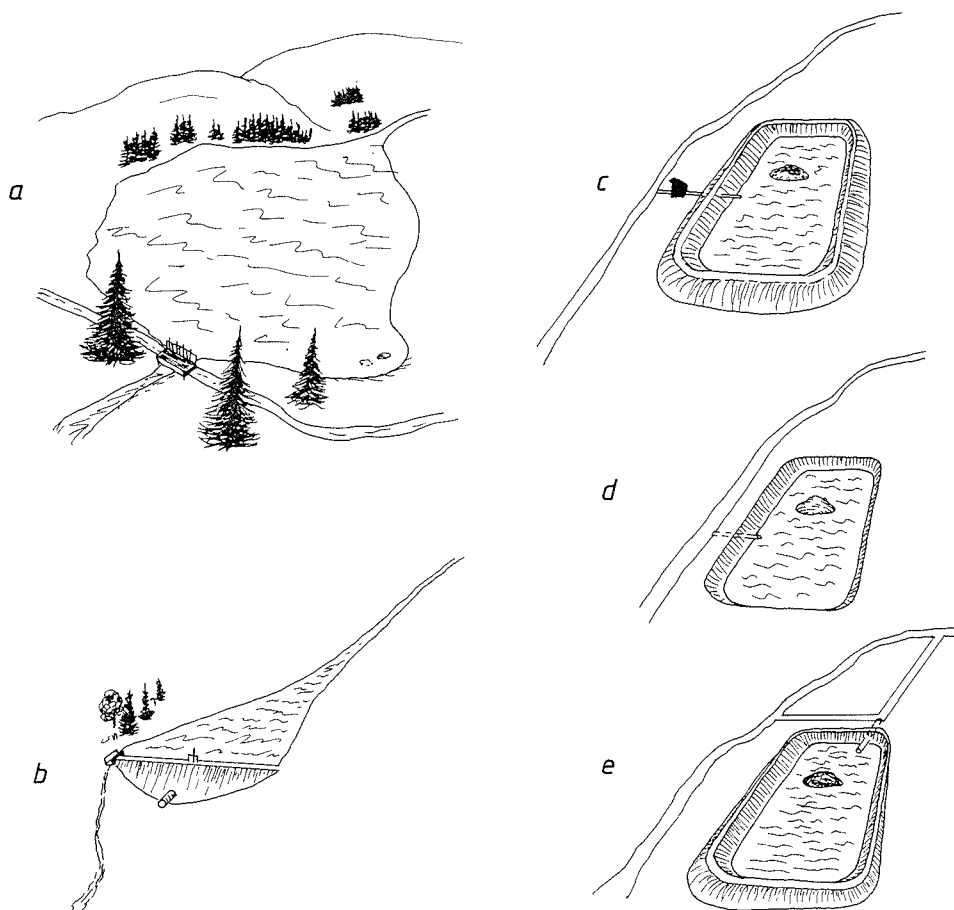


Fig. 1. Olika sätt att anlägga vattenmagasin: a) Sjöreglering, b) damm i vattendrag, c) friliggande bassäng som fylls genom pumpning, d) lågt placerad friliggande bassäng som fylls genom självfall under högvattenperioder, e) friliggande bassäng som fylls genom självfall från högre belägen uttagspunkt.

Water storage installations: a) Lake regulation, b) impounding reservoir, c) offstream reservoir filled by pumping, d) offstream reservoir, excavated for gravity feed, e) offstream reservoir, gravity fed from an inlet higher upstream.

3. FÖRUNDERSÖKNINGAR

3.1. Allmänt orienterande undersökningar

Innan en mer detaljerad planering för anläggning av ett vattenmagasin påbörjas, måste man göra en allmän bedömning av förutsättningarna. Redan från början bör man göra klart för sig vilken vattenvolym man skall planera för. Avgörande är då hur stor areal som skall bevattnas och de olika grödornas vattenbehov under ett torrår. I sammanhanget är det väsentligt att ta hänsyn till att fördelningen mellan olika grödor inom den givna arealen kan förändras sedan möjligheterna till bevattning byggts ut. Man bör givetvis i detta sammanhang också undersöka vilka möjligheter som finns för vattenmagasinering i

samverkan mellan flera vattenintressenter.

Utifrån rådande hydrologiska och topografiska förutsättningar får man sedan inventera de olika möjligheter som finns att magasinera vatten. De alternativ som framkommer rekognoseras och studeras närmare, så att en prioritering kan göras dem emellan. Förutom den hydrologiska och topografiska lämpligheten måste bl.a. följande faktorer beaktas:

- den tilltänkta byggnadsplatsens geologi och byggnadstekniska lämplighet
- vattenmagasinets belägenhet i förhållande till de områden som skall bevattnas
- möjligheter att dra fram el till eventuella pumpstationer
- ägarförhållanden, markvärde och markanvändning för de områden som kan komma att tas i anspråk eller skadas
- vattenrättsliga förutsättningar
- inverkan på natur och landskapsbild
- möjligheter att använda magasinet även för andra ändamål, t.ex. som branddamm eller för bad eller fiskodling.

För alternativet med högst prioritet görs en mer ingående hydrologisk utredning, en ytavvägning och en geoteknisk undersökning. Dessa undersökningar avser att ge underlag för en slutgiltig bedömning av alternativets lämplighet från ekonomisk och anläggningsteknisk synpunkt och inte minst från säkerhetssynpunkt. Undersökningarna skall dessutom utgöra underlag för det följande projekteringsarbetet.

3.2. Ytavvägning

Ytavvägningen syftar, förutom till att ge underlag för arbetsritningar, till att möjliggöra beräkningar av den magasinerade vattenvolymen vid olika vattenstånd och beräkningar av erforderliga volymer schaktmassor. Vidare skall ytavvägningen ge underlag för en bedömning av markskador som kan uppstå på grund av uppdämningen.

Den yta som kommer att upptas av dammbassängen samt de ytor som påverkas av uppdämningen bör ytavvägas så att höjdkurvor med en ekvidians av högst en halv meter kan ritas. För reglering av markskador kan ibland en mer detaljerad mätning erfordras. Ifall området är mycket långsträckt kan det vara fördelaktigt att i stället mäta in ett antal typiska sektioner vinkelrätt mot dammbassängens längdaxel. Dammläget bör noggrant mätas in så att detaljerade tvär- och längdsektioner kan upprättas.

Vid arbetsområdet bör finnas minst en noggrant inmätt fixpunkt så att mätningarna lätt kan kompletteras och så att iakttagelser vid de geotekniska under-

sökningarna kan relateras till höjdsystemet. För framtiden behövs fixpunkten exempelvis för observationer av sättningar i fördämningsvallen och för mätningar av vattennivån i bassängen. Vattenståndsobservationerna underlättas om en vattenståndsskala placeras i dammbassängen och relateras till fixpunktens höjd.

3.3. Geoteknisk utredning

Den geotekniska utredningen avser att klarlägga var vattenmagasinet bör läggas och hur det skall utformas med hänsyn till funktion och säkerhet. Inledningsvis studeras tillgänglig information beträffande den tilltänkta byggnadsplatsens geologi, topografi och grundvattenförhållanden. Information kan föreligga i form av geologiska, topografiska och ekonomiska kartor, flygbilder och resultat från andra markundersökningar på platsen eller i dess närhet. Med utgångspunkt från sådan information och en preliminär skiss över anläggningens utformning planläggs fältundersökningar och provtagningar.

Undersökningsprogrammet får inte vara alltför fastlåst, utan måste kunna anpassas till de erfarenheter som erhålles under fältarbetets gång. Ett område som har dåliga bärighetsegenskaper eller starkt varierande markförhållanden eller en grund innehållande skikt med hög genomsläpplighet kräver naturligtvis mer ingående och omfattande undersökningar än ett enhetligt område med enkla jordlagerföljder och för anläggningen godartade förhållanden.

Undersökningsprogrammet bör möjliggöra en kartläggning av jordlagrens mäktighet, genomsläpplighetsförhållanden, grundvattennivåer och grundvattnets strömningsriktningar inom det område som kommer att beröras av dammbassäng och fördämningsvall. Vid tänkta vallägen och där bräddavlopp skall placeras skall också grundläggningsförhållandena undersökas. Dessutom skall lämpligt vallbyggnadsmaterial anvisas och dess packningsegenskaper bestämmas så att lämpliga packningsmetoder kan rekommenderas.

I fältarbetet bör ingå upptagning av ett antal provgröpar vari de övre markhorisonterna kan studeras och provtas. Vid grävningen kan materialets schaktbarhet studeras. Tillströmmande grundvatten ger indikationer på markens genomsläpplighet.

För studium och provtagning av djupare jordlager samt för bestämning av djupet till fast botten används olika jordborrar och sonderingsmetoder. Genom s.k. viktsondering kan man få en uppfattning om jordlagrens mäktighet och hållfast-

hetsegenskaper samt erhålla indikationer på jordens sammansättning. Önskar man en säker uppgift om djupet till fast berg måste viktsonderingen kompletteras med en s.k. jord-bergsondering. Med hjälp av en vingborrutröstning kan skjuvhållfastheten på olika nivåer bestämmas i fält. Störda jordprov för jordartsbestämning och packningsprov kan tas ut med skruv- eller spadborr. För laboratoriebestämning av jordens hållfasthet, torrdensitet och genomsläpplighet tas s.k. ostörda prover ut med hjälp av en kolvprovtagare.

Genomsläpplighetsmätningar i fält kan genomföras med pump- eller infiltrationsförsök. Grundvattensituationen i området kan studeras med hjälp av vattennivåer i provgropar och i utplacerade grundvattenståndsrör. För studier av grundvattnets strömnings- och tryckförhållanden kan man i genomsläppliga jordarter använda öppna piezometerrör. I täta jordar används porttrycksmätare för samma ändamål.

3.4. Hydrologisk utredning

Följande hydrologiska frågeställningar kan behöva belysas:

- 1) Hur stort vattenmagasin erfordras?
- 2) Är tillrinningen i vattendraget tillräcklig för att man även under ett torrår skall kunna fylla magasinet?
- 3) Om magasinet placeras vid sidan av ett vattendrag, hur skall fyllningsanordningarna dimensioneras för att bäst ta tillvara den tillrinnande vattenmängden.
- 4) Vilka extrema högvattenföringar har man att räkna med för dimensionering av eventuella bräddavlopp?

3.4.1. Erforderlig magasinstorlek

Vid dimensionering av ett vattenmagasin för bevattningsändamål har man att utgå från vattenbehovets storlek och tidpunkterna för uttagen samt vattentillgången och den tidsperiod varunder magasinet kan fyllas. Skall magasinet rymma hela bevattningssäsongens behov eller är det fråga om ett ansamlingsmagasin där ett litet, kontinuerligt tillflöde måste magasineras för att man kortvarigt skall kunna utnyttja bevattningsanläggningens kapacitet? I det senare fallet rör det sig oftast om så kortvariga magasineringsperioder och så små magasin att man inte behöver beakta förluster i form av avdunstning eller läckage. Magasinet dimensioneras då för den vattenmängd som man under en kortare period måste ha tillgång till för att kunna bevattna en viss areal eller för fullt kapacitetsutnyttjande under en del av dygnet.

När vattenmagasinet avser magasinering av vatten från vårfloden till bevatt-

ningssäsongen har man dock att räkna med ett antal förlust- och tillskotts-termer, jfr fig. 2. Dessa bör vid dimensioneringen beräknas för ett torrår, så att man inte kommer att lida brist på vatten då behovet är som störst. Förlusterna utgöres av avdunstning från dammbassängen, läckage genom fördämningsvallar och bassängbotten samt av eventuella tappningsförluster. Tappningsförluster avser förluster i samband med framreglering av vatten för förbrukning nedströms. Eventuell framreglering av en minimivattenföring kan inte betraktas som en egentlig förlust, såvida man inte tvingas att avstå mer vatten än som samtidigt rinner till bassängen. Tillskotten kan utgöras av tillrinning under magasineringsperioden om inte dessa måste regleras förbi magasinet, återpumpning av läckvatten samt nederbörd.

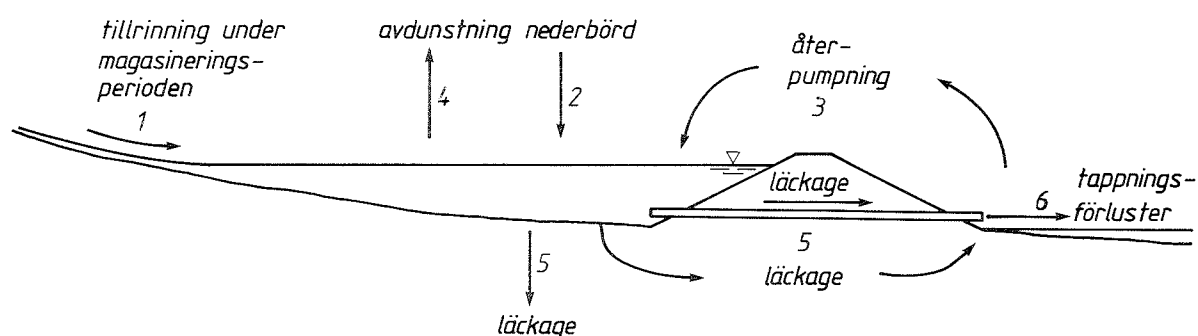


Fig. 2. Förluster från och tillskott till ett vattenmagasin under magasineringsperioden.

Water gains and losses for a reservoir during the storage period: (1) occasional inflow, (2) precipitation, (3) repumping of seepage water, (4) evaporation, (5) seepage, (6) regulation losses.

Avdunstning. Betydande kvantiteter vatten kan avgå från magasinet genom avdunstning, särskilt om bassängens yta är stor i förhållande till dess volym. För perioden april till och med augusti kan avdunstningen i medeltal antas vara mellan 500 och 550 mm från fria vattenytor i Götaland och östra Svealand. De lokala variationerna kan vara stora beroende på vindförhållanden och olikheter i luftfuktighet m.m. Ungefärliga värden på medelavdunstningen från fria vattenytor i Götaland och östra Svealand anges för månaderna mars till och med september i tabell 1. Värdena i tabellen har erhållits genom bearbetning av uppgifter om den potentiella evapotranspirationen (Penman-värden med reflektionskoefficienten = 0,12) som publicerats av Eriksson (1981). Dessa uppgifter har omräknats till att gälla avdunstningen från fria vattenytor. Vattenytans reflektionskoefficient har därvid antagits vara 0,05. En ändring av koefficienten från 0,12 till 0,05 medför, under de förhållanden som råder under sommarhalvåret i den aktuella delen av landet, att den månadsvisa avdunstningen be-

räknad med Penmans formel blir ungefär 8 procent högre än Erikssons evapotranspirationsvärden. Eftersom hänsyn inte har tagits till att vattnet magasinerar värme måste man räkna med att den verkliga avdunstningen är något lägre i mars-april och något högre i september än de värden som ges i tabellen.

Man kan räkna med att avdunstningen för femmånadersperioden april till och med augusti under en extrem torrsommar överstiger medelavdunstningen med 15 à 20 procent. Enskilda månadsvärden kan överstiga medelvärdet betydligt mer, under sommarhalvåret upp mot 30 à 50 procent.

Tabell 1. Ungefärlig medelavdunstning från fria vattenytor i Götaland och östra Svealand. Bearbetning av uppgifter i Eriksson (1981)
Approximate mean evaporation from free water surfaces in Götaland and eastern Svealand. Derivation of data from Eriksson (1981)

Månad	Avdunstning, mm
Mars	15-30
April	50-65
Maj	100-115
Juni	125-145
Juli	120-135
Augusti	90-105
September	45-60

Vegetation i en dammbassäng kan inverka på avdunstningsförlusternas storlek. Genom vegetationens beskuggande och vindnedsättande verkan blir den direkta avdunstningen från vattenytan lägre. Växtlighetens transpiration kan dock under vissa förutsättningar överskrida denna minskning. Växtligheten reflekterar mer av den instrålade energin än vattenytan, men förmår ta upp mer av den energi som tillförs med vinden från omgivande uppvärmda landområden. Det är således svårt att generellt påstå att vegetation i vattnet ökar eller minskar den totala avdunstningsförlusten. I små vattensamlingar är det dock troligt att vegetationen ökar den totala avdunstningen något.

Läckage. Genom en fördämningsvall på relativt ogenomsläpplig grund kan läckaget enligt Creager m.fl. (1945) grovt uppskattas med formeln

$$q = \frac{4 \cdot k \cdot h^2}{9 \cdot L} \quad (1)$$

där q är läckavattenmängden per meter vall, k är genomsläppligheten i vallen, h är höjden till vattenytan räknat från den "täta" grunden och L är läckvattnets genomsnittliga strömningsväg genom vallen. Den genomsnittliga strömningsvägen kan beräknas med formeln

$$L = (1,133 \cdot h + 2 \cdot z) \cdot \cot \alpha + w \quad (2)$$

där z är vallens höjd ovan vattenytan, w är krönvidden och α är släntvinkeln vid nedströmstån. Om släntlutningen sägs vara 1:3 avser detta en höjdskillnad av 1 m vid förflyttning 3 m i horisontell led. $\cot \alpha$ blir då lika med 3. Betydelsen av beteckningarna framgår tydligt i fig. 3.

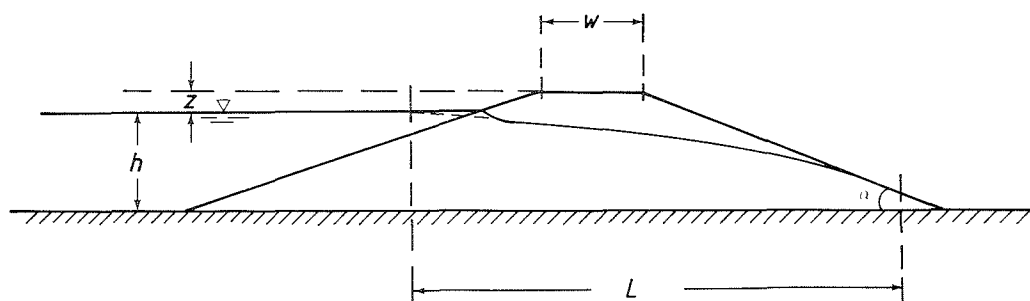


Fig. 3. Beteckningar vid beräkning av läckaget genom en fördämningsvall.
Symbols used in calculating the amount of seepage through an embankment.

Som orientering lämnas i tabell 2 överslagsvärden för genomsläppligheten i olika jordarter i naturlig lagring. Vidare kan nämnas att vallmaterialet i en homogen damm skall packas till en genomsläpplighet av högst $1 \cdot 10^{-6}$ m/s eller 0,09 m/dygn (Schaeff, 1972). Olika vallbyggnadsmaterial och packningsförfarande behandlas mer ingående i avsnitt 5.

Tabell 2. Överslagsvärden för olika jordarters genomsläpplighet (efter Fagerström & Wiesel, 1972)

Approximate permeability values for different soil types

Jordart	Genomsläpplighet m/s
<i>Moräner</i> (välgraderad jord)	
Grusig morän (2-5 % ler)	$10^{-5} - 10^{-7}$
Sandig morän (")	$10^{-6} - 10^{-8}$
Siltig morän (")	$10^{-7} - 10^{-9}$
Lerig morän (5-15 % ler)	$10^{-8} - 10^{-10}$
Moränlera (> 15 % ler)	$10^{-9} - 10^{-11}$
<i>Sediment</i> (ensgraderad jord)	
Fingrus	$10^{-1} - 10^{-3}$
Grovsand	$10^{-2} - 10^{-4}$
Mellansand	$10^{-3} - 10^{-5}$
Finsand	$10^{-4} - 10^{-6}$
Grovsilt	$10^{-5} - 10^{-7}$
Mellansilt-finsilt	$10^{-7} - 10^{-9}$
Lera	$< 10^{-9}$

Om grunden närmast under fördämningsvallen har samma genomsläpplighet som vallkroppen och djupet till "tätt" material inte är alltför stort, kan den ovan givna formeln (1) användas även för skattning av det totala läckaget genom vall och grund. Man tänker sig då en utsträckning av vallkroppen ned till det mer svårgenomsläppliga materialet, fig. 4. En förutsättning är att vattnet inte däms upp på nedströmssidan högre än att grundvattenytan skär den tänkta förlängningen av nedströmsslänten vid ungefär $1/3$ av höjden, h , från den täta horisonten till vattenytan på uppströmssidan. Den genomsnittliga strömningsvägen, L , kan erhållas ur (2) men också skattas grafiskt genom att ett strömnät konstrueras (se vidare sid. 36). Tillvägagångssätt och randvillkor m.m. vid uppritning av strömnät redovisas i Reinius (1968a). Särskilt vid mer komplicerade strömningssituationer bör strömnät konstrueras för att man skall kunna göra goda skattningar av läckvattenflödet.

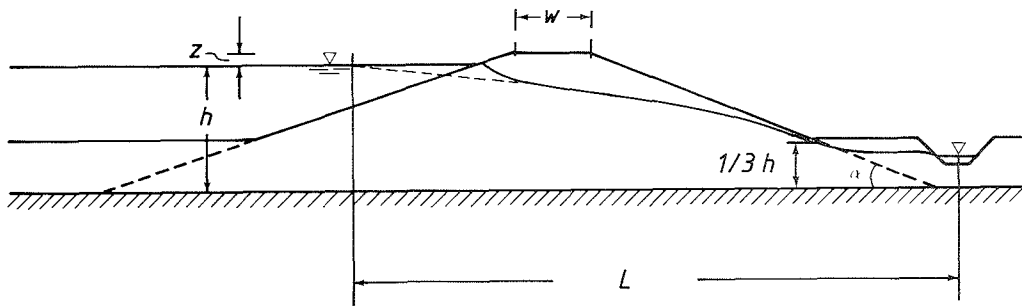


Fig. 4. Tänkt utsträckning av vallkroppen ned till en horisont av mer svår-
genomsläppligt material.

Hypothetical extension of the embankment to an impervious layer.

Läckaget genom grunden under en fördämningsvall då vallens och grundens genomsläpplighet är olika, kan skattas med hjälp av Darcys formel,

$$Q = k \cdot l \cdot A \quad (3)$$

där Q är den genomströmmande vattenmängden per tidsenhet, l är fallet, dvs. höjdskillnaden mellan vattenytorna på uppströmssidan och nedströmssidan dividerad med den genomsnittliga strömningsvägen, och A är genomströmningsarean. Per längdmeter av fördämningen gäller då uttrycket

$$q = k \cdot \frac{h_d}{L} \cdot d \quad (4)$$

Betydelsen av beteckningarna h_d , L och d framgår av fig. 5.

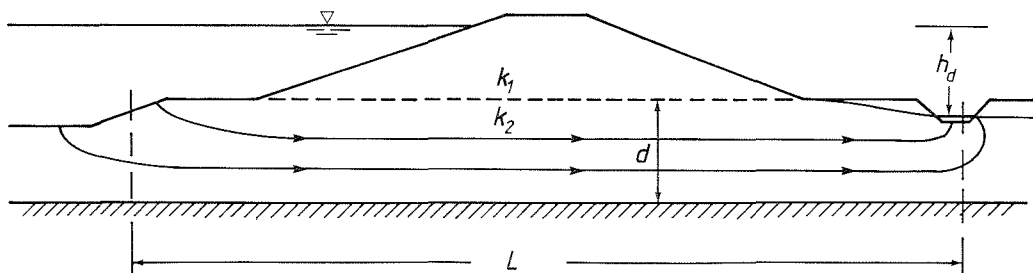


Fig. 5. Beteckningar vid beräkning av läckaget genom grunden.
Symbols used in calculating the amount of seepage through the foundation.

Vid de redovisade skattningsmetoderna tas ingen hänsyn till läckage genom sprickor eller andra ofullkomligheter i vallkroppen eller grunden. Sådant läckage kan innebära betydande förluster och medför dessutom stora risker för urspolning av finmaterial varigenom läckaget med tiden kan bli större. Koncentrerade läckvattenströmmar bör inte accepteras utan måste förebyggas redan vid anläggningen av vallen och åtgärdas omedelbart ifall sådant läckage ändå skulle uppstå.

Läckaget genom bassängbotten är förutom av bottenens genomsläpplighet i hög grad beroende av hela omgivningens geohydrologi, varför några generella råd om hur läckagets omfattning skall kunna uppskattas inte kan ges.

Tappningsförluster i samband med framreglering av vatten för förbrukning nedströms är bl.a. beroende av hur noggrant man kan reglera utflödet ur magasinet samt hur vattnet kan infångas vid uttagsplatsen. Det kan här erfordras någon typ av buffertmagasin. Är vattendraget helt torrlagt före tappningen och avståndet till uttagsplatsen är stort kan det uppstå avsevärda förluster genom att vatten infiltrerar eller kvarhålls i fördjupningar i strömfåran.

Tillrinning under magasineringsperioden. Kan man på projekteringsstadiet se att det även under en torrsommar förekommer tillfälliga perioder med tillrinning som kan och får utnyttjas till att fylla på magasinet, kan detta reducera den erforderliga magasinensvolymen. Ofta regleras dock möjligheterna att utnyttja tillfälliga flöden under lågvattenperioden genom bestämmelser om att uttag ur vattendraget inte får ske efter ett visst datum eller att en viss minsta vattenföring måste släppas förbi vattenmagasinet.

Nederbörd direkt i vattenbassängen bör tas med som ett tillskott i beräkningarna av magasinets vattenbalans för att åtminstone till en del balansera avdunstningsförlusterna. I tabell 3 redovisas för några orter i södra och mel-

lersta Sverige uppgifter om nederbörden under torra förhållanden. Tabellen anger för varje aktuell period (mars-augusti etc.) den nederbördsmängd som statistiskt kan förväntas tangeras eller underskridas ett år av tio vid respektive station.

Tabell 3. Den nederbördsmängd under olika sommarperioder vilken statistiskt kan förväntas tangeras eller underskridas ett år av tio (Bjerketorp, 1983a)
Precipitation amounts during summer periods. These or lower amounts have a return period of ten years

	mars-aug.	april-aug.	maj-aug.	juni-aug.
Uppsala	201	177	146	115
Kalmar	172	148	121	92
Skara	226	200	169	128
Kristianstad	212	185	154	115
Visby	158	132	102	81

Restvolym. Vid dimensionering av dammbassängen bör man räkna med en viss restvolym. Bassängen bör av olika skäl inte tömmas helt annat än för eventuella reparations- eller underhållsarbeten. Mot en fullständig torrläggning av bassängbotten talar att torksprickor kan uppstå, vilket kan leda till läckage. Dessutom spolieras livsbetingelserna för invandrad eller inplanterad fisk. En helt tömd vattenbassäng kan vidare knappast ses som något positivt inslag i landskapsbilden.

Dimensioneringsexempel

Förutsättningar: Magasinet skall dimensioneras för att kunna täcka vattenbehovet för bevattning av 40 ha med 100 mm. Magasinet placeras vid sidan av en mindre bäck, varifrån vattnet skall pumpas in i bassängen. Vattenuttag från bäcken får ej göras efter den 1 april. Bevattning beräknas pågå t.o.m. augusti månad.

$$\text{Vattenbehov: } 40 \cdot 10000 \text{ m}^2 \cdot 0,100 \text{ m} = 40\,000 \text{ m}^3$$

För att täcka förluster av olika slag planeras bassängen preliminärt för att rymma 50 procent mer vatten än behovet, dvs. $1,5 \cdot 40\,000 \text{ m}^3 = 60\,000 \text{ m}^3$. Förutsättningarna antas vara sådana att det är lämpligt att bassängen ges en yta av 2 hektar med i genomsnitt 3 meters vattendjup.

Avdunstning och nederbörd: En torrsommar beräknas avdunstningen under tiden april till augusti uppgå till $1,2 \cdot 540 \text{ mm} = 650 \text{ mm}$. Nederbörden under motsvarande tid antas vara 150 mm. Över en yta av 2 ha blir avdunstningsförlusten minus ne-

derbördstillskottet $(0,650 - 0,150) \text{ m} \cdot 20\,000 \text{ m}^2 = \underline{10\,000 \text{ m}^3}$.

Läckage: Den planerade vallen antas kunna utformas enligt fig. 6. I figuren anges genomsläpplighetsvärden i grunden och i den färdiga vallen.

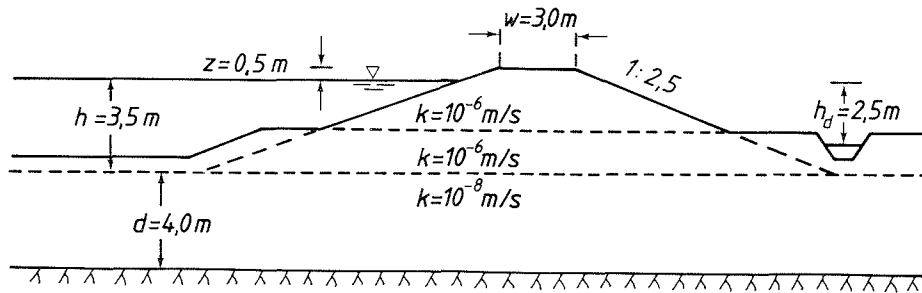


Fig. 6. Genomsläpplighetsvärden och geometri för den i beräkningsexemplet antagna fördämningen.

Permeability values and geometrical dimensions of the embankment in the worked example.

Läckaget genom vallen och den övre, mer genomsläppliga delen av grunden skattas med hjälp av formlerna (2) och (1).

$$L = (1,133 \cdot 3,5 + 2 \cdot 0,5) \cdot 2,5 + 3 = 15,4 \text{ m}$$

$$q = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 3,5^2}{9 \cdot 15,4} = 3,54 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s m}$$

Detta motsvarar $0,031 \text{ m}^3/\text{dygn}$ och meter vall. Om vallen är 600 m lång blir läckaget $18,3 \text{ m}^3/\text{dygn}$ eller $550 \text{ m}^3/\text{månad}$. Detta gäller under förutsättning att bassängen hela tiden är fylld till 0,5 m under vallkrönets nivå. Efter hand som vattennivån sjunker i bassängen minskar också läckaget. Antag att medelvattenståndet räknat från den tätare lerhorisonten antar följande värden för månaderna april till augusti: 3 m, 2,5 m, 2 m, 1,25 m respektive 0,75 m. Läckaget beräknat enligt formeln ovan blir då för respektive månad: 550 m^3 , 390 m^3 , 245 m^3 , 115 m^3 och 55 m^3 . Summerat för hela perioden blir det 1355 m^3 eller grovt avrundat $\underline{1500 \text{ m}^3}$.

Läckaget genom den tätare leran i grunden beräknas enligt formel (4).

$$q = 10^{-8} \cdot \frac{2,5}{30} \cdot 4 = 3,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s m}$$

Detta motsvarar $5,2 \text{ m}^3/\text{månad}$ och 600 m fördämning, vilket i jämförelse med läckaget genom vallen i det här fallet kan försummas.

Läckaget nedåt till djupare akvifärer kan i vårt exempel antas vara mycket litet. Den fyra meter mäktiga lerhorisonten försvårar effektivt vattnets strömning mot eventuella sprickor i berget. I det fall leran hade underlagrats av ett fritt dränerande grusskikt hade läckaget, beräknat enligt Darcys lag, kunnat uppgå till knappt 1000 m^3 per månad vid helt fylld bassäng.

Av miljömässiga skäl samt för att inte riskera att torksprickor uppstår i bassängbotten vill man inte avsänka vattennivån längre än till i genomsnitt $0,4 \text{ m}$ vattendjup. Restvolymen blir då $0,4 \text{ m} \cdot 20\,000 \text{ m}^2 = \underline{8\,000 \text{ m}^3}$.

Vattenbassängens erforderliga volym kan nu beräknas:

Vattenbehov	40 000 m^3
Tillflöde under magasineringsperioden	0 "
Avdunstningsförluster - nederbördstillskott	10 000 "
Läckage genom och under fördämningen	1 500 "
Läckage genom bassängbotten	0 "
Restvolym	<u>8 000 "</u>
Totalt erforderlig bassängvolym	59 500 m^3

3.4.2. Vattentillgången

Redan i inledningsskedet vid planeringen av ett vattenmagasin bör man undersöka om den erforderliga vattenvolymen kan erhållas från vattendraget. Är tillrinningen knapp bör man försöka klarlägga hur ofta man statistiskt sett kan förvänta sig att vattenmängden inte räcker till för fyllning av magasinet.

Årstillrinningen i medeltal kan överslagsmässigt skattas med hjälp av värden på den specifika årsavrinningen, dvs. den årliga avrinningen per ytenhet. Tryselius (1971) har publicerat en karta över Sverige med inlagda isolinjer för den specifika årsavrinningen uttryckt i l/s km^2 i medeltal för perioden 1931-60. Kartans avrinningstal multipliceras med det aktuella områdets yta i km^2 och med en sortomvandlingsfaktor 31536 varigenom den tillrinnande vattenmängden erhålles uttryckt i $\text{m}^3/\text{år}$.

Vid planering av ett magasin för bevattningsvatten är man mer intresserad av tillrinningen under ett torrår än av tillrinningens medeltal. En tumregel är att den tillrinning som statistiskt kan förväntas tangeras eller underskridas i medeltal ett år av tio är cirka hälften av årsmedeltillrinningen. Denna tumregel kan anses gälla för områden med liten eller måttlig medelavrinning och med en sjöandel som inte är alltför stor. Kvoten mellan avrinningen med tio års återkomsttid och medelavrinningen stiger nämligen med sjöandelen och framför allt med specifika medelavrinningen (Bjerketorp, 1983b).

För små tillrinningsområden kan dock avvikelser från allmänt givna avrinningstal och från tumregeln ovan vara stora. Därför bör en noggrann inventering av vattentillgången företas innan man bestämmer sig för om, var och hur vattenmagasinet skall byggas. Man bör också försöka förutse om vattentillgången med tiden kan minska på grund av konkurrerande uttag från vattendraget.

En noggrann undersökning av den framrinnande vattenmängden och dess fördelning under året fordrar antingen att mätningar av vattenföringen har utförts i det aktuella vattendraget eller att tillrinningsområdet kan jämföras med andra områden i närheten där mätningar utförts. Vid jämförelserna tas hänsyn till skillnader i nederbördsförhållandena samt till faktorer som påverkar hur stor del av nederbörden som avdunstar, infiltrerar, respektive avrinner på ytan. Sådana faktorer är t.ex. tillrinningsområdets storlek, markbeskaffenhet, vegetationskaraktär och sjöandel.

För en någorlunda säker bedömning av årsmedeltillrinningens storlek fordras att vattenföringsmätningarna pågått under flera år. Än mer framträdande blir kravet på lång mätperiod om man vill uttala sig om hur ofta man kan räkna med att ett visst avrinningsvärde kommer att underskridas eller överskridas.

Vid uppskattning av tillrinningen med hjälp av mätuppgifter från intilliggande avrinningsområden är det värdefullt, om man under något eller några år med hjälp av ett enkelt mätöverfall kan göra direkta jämförelser med vattenföringen i det vattendrag varifrån uppgifter hämtats. Härigenom kan en värdefull kontroll göras av uppskattningens riktighet.

3.4.3. Dimensionering av fyllningsanordningar

För dimensionering av fyllningsanordningarna till en friliggande bassäng är det väsentligt att känna till under hur lång tidsperiod fyllning av bassängen kan pågå. Fyllningstiden kan begränsas av restriktioner beträffande när vatten får tas ut från vattendraget. Dessa kan t.ex. bestå i att vatten inte får tas ut efter ett visst datum eller när vattenföringen understiger ett visst värde. Restriktionen kan också innebära att vatten får tas ut endast i en sådan omfattning att en viss restvattenföring återstår.

Det kan vara svårt att få fram uppgifter över olika flödens varaktighet. För vattendrag där kontinuerliga vattenföringsmätningar pågått under flera år kan varaktighetsvärden beräknas. Ett sådant värde anger under hur lång tid av mätperioden som vattenföringen varit större än ett visst värde och uttrycks vanligen i promille eller som det antal dagar i medeltal per år som vattenföringen

är högre än den angivna. Sådana värden kan ge en viss ledning för dimensioneringen även om man oftast bör dimensionera fyllningsanordningarna så att kapaciteten räcker till för fyllning av bassängen även under år med kortare flödesperioder än normalt.

Skall vattenmagasinet fyllas genom pumpning kan det ibland vara befogat att anlägga ett ansamlingsmagasin vid uttagsplatsen, dimensionerat så att pumpanläggningen kan vara i drift under minst 15-20 minuter innan vattennivån blir så låg att pumparna stängs av. Täta till- och frånslag kan på sikt skada pumparna.

3.4.4. Dimensionerande högvattenföring

För dammar som ligger direkt i vattendraget fordras att det vatten som tillrinner då magasinet är fullt, skall kunna passera utan att dammen överströmmas eller överbelastas. Sådana anläggningar förses därför med någon form av bräddavlopp (se vidare avsnitt 6.2).

Dammens bräddavlopp skall dimensioneras så att allt tillrinnande vatten kan avbördas även under extrema flödessituationer. För att kunna göra en riktig dimensionering måste man uppskatta storleken av en högvattenföring som med mycket liten sannolikhet kan förväntas överskridas. En sådan uppskattning kan underbyggas av vattenföringsmätningar i det aktuella tillrinningsområdet eller i andra liknande områden i trakten. Vidare kan studier av olika faktorer som påverkar tillrinningens intensitet, t.ex. nederbörds- och snösmältningsförhållanden samt tillrinningsområdet storlek och karaktär utgöra underlag för skattningen.

Den specifika högvattenföringen ($\text{m}^3/\text{s km}^2$) är bl.a. beroende av tillrinningsområdets ytvidd och form. Sannolikheten för att intensiv nederbörd skall falla över hela tillrinningsområdets yta samtidigt, är större om ytan är liten och väl sammanhållen, än om ytan är stor och långsträckt. Den specifika högvattenföringen blir därför större från små områden än från stora. Dessutom utjämnas flodvågen under sin väg ned genom avrinningsområdet. Denna utjämning blir mindre ju kortare väg vattnet har att tillryggalägga.

Har tillrinningsområdet stor andel hällmark eller hårdgjorda ytor leder detta till häftigare avrinning och därmed större högvattenföring. Sjöar verkar utjämnande på vattenföringen, särskilt om de är belägna i områdets huvudvattendrag och nära områdets utlopp. Våtmarksområden och skogklädda ytor dämpar flödesamplituden i jämförelse med öppen mark. Dräneringsåtgärder och andra vatten-

reglerande åtgärder kan också ha stor betydelse för högvattenföringens storlek.

Om man har tillgång till uppmätta värden på vattenföringen från en lång tidsperiod, 15-20 år eller mer, kan man med statistiska metoder beräkna sannolikheten för hur ofta en viss vattenföring överskrides. Man talar då om att denna vattenföring statistiskt kan förväntas överskridas i genomsnitt en gång under ett visst antal år. Tidsperiodens längd brukar benämnas återkomsttid eller rekurrensintervall. Som dimensionerande vattenföring för ett bräddavlopp kan det vara aktuellt att använda en vattenföring med återkomsttiden 25, 100 eller kanske 1000 år beroende på vilka konsekvenser ett dammgenombrott skulle få. Det bör poängteras att en vattenföring med ett visst rekurrensintervall givetvis inte följer någon exakt tidtabell. Ett "femtioårsflöde" kan överskridas följande år eller kanske först om 100 år. Det som gäller är, att det enligt statistiska beräkningsmetoder förutses, att ett överskridande äger rum i genomsnitt endast en gång per femtioårsperiod.

En annan utgångspunkt för dimensioneringen kan vara den högsta vattenföring som någonsin uppmäts i vattendraget, HHQ. Detta värde är naturligtvis mycket beroende av ifall det under den tid mätningar pågått inträffat något extremt högvattenflöde eller inte. HHQ-värdet bör därför alltid relateras till den aktuella mätperioden. Vid dimensioneringen lägger man en viss säkerhetsmarginal till HHQ-värdet med hänsyn till mätperioden och till vilka skador en förhöjd vattennivå i dammbassängen eller ett dammgenombrott skulle medföra.

I regel har vattenföringsmätningar ej utförts vid det aktuella dammläget eller ens i det aktuella vattendraget. Med hjälp av uppgifter om vattenföringen vid mätstationer på andra platser i vattendraget eller i andra vattendrag i närheten har man då att försöka göra en så riktig skattning som möjligt av olika karakteristiska vattenföringar som t.ex. högsta högvattenföringen. Hänsyn måste då tas till olikheter i nederbördsförhållanden samt till tillrinningsområdenas storlek och egenskaper. Eventuellt kan också en vattenföring med en viss återkomsttid beräknas med hjälp av mätresultat från andra vattendrag i närheten.

En uppskattning av högsta högvattenföringen kan i vissa fall göras utifrån högvattenmärken på broar och liknande eller med stöd av utsagor från ortsbefolkningen om olika vattenstånd. Det är emellertid mycket svårt att överföra uppgifter om vattenytans nivå till en viss vattenföring, såvida man inte vid mätstället råkar ha en varaktig och väldefinierad bestämmande sektion.

Som en orientering vid inledande studier i samband med projektering av en damm-

anläggning kan det vara bra att ha några riktvärden över storleksordningen på den högsta högvattenföringen. Reinius (1969) har angivit värden på den specifika högvattenavrinningen (HHQ per ytenhet) för små, sjölösa områden i östra Svealand och Götaland, vilka återges i tabell 4. Tabellens värden förutsätter en medelavrinning på $0,006 \text{ m}^3/\text{s km}^2$.

Tabell 4. Specifika högvattenavrinningen från små, sjölösa områden i östra Svealand och Götaland (efter Reinius, 1969)

Specific peak discharge from small catchment areas without lakes in eastern Svealand and Götaland

Tillrinningsområdets storlek km^2	Specifik högvattenavrinning $\text{m}^3/\text{s km}^2$
1	1,00
2	0,75
4	0,55
8	0,40
16	0,30
24	0,25
80	0,15

Genom att multiplicera aktuellt värde med tillrinningsområdets storlek erhålls storleksordningen på HHQ. För västkustområdet föreslår Reinius att tabellens värden höjes med approximativt 20 procent. Reinius påpekar att de lokala variationerna är stora till följd av olikheter i nederbörds- och avrinningsförhållandena.

Bjerketorp (1983c) har gjort en ganska ingående analys av mätresultat från vattenföringsmätningar i Götaland och östra Svealand. Analysen utmynnade i ett formelsystem med vilket en högvattenföring med en återkomsttid av cirka 100 år approximativt kan beräknas. Formelsystemet baseras på en grundfunktion där endast tillrinningsområdets ytvidd är ingående parameter. Denna kompletteras med tre funktioner för korrektionsfaktorer, vilka medger att hänsyn tas till det aktuella områdets specifika medelavrinning, andel sjöyta och markbeskaffenhet.

Grundfunktionen, som matematiskt är ganska enkel, gäller utan korrektioner då medelavrinningen är $0,005 \text{ m}^3/\text{s km}^2$, sjöandelen är noll procent och andelen "öppen mark" (egentligen mark som ej är att hänföra till sjö, myrmark eller skog) är hundra procent. Samtliga korrektionsfaktorer är då lika med ett. Funktionerna för beräkning av de olika korrektionsfaktorerna föranleder ganska omfattande räkneoperationer. Skall flera beräkningar utföras, exempelvis för alternativa dammlägen eller om de ingående parametrarna är osäkert bestämda och man därför vill göra beräkningar med olika ytterlighetsvärden, är det lämpligt

att använda en programmerbar fickräknare. I bilaga 1 redovisas formelsystemet samt ett program avsett för fickräknare av typen HP-41 C eller HP-41 CV med vilket beräkningarna snabbt kan utföras. I bilagan finns också tre exemplifierande tabeller som visar hur korrektionsfaktorerna och "hundraårsflödet" varierar med olika värden på tillrinningsområdets ytvidd, specifika medelavrinning, sjöprocent och andel öppen mark. Approximativa värden på specifika medelavrinningen kan erhållas från Tryselius (1971).

För tillrinningsområden som är extrema i avseenden som man med formelsystemets nuvarande utformning ej kan korrigera för, exempelvis i fråga om lutningsförhållanden, har systemet naturligtvis begränsad giltighet. Under förutsättning att de extrema förhållandenas inverkan på avrinningen sakkunnigt bedömes kan dock formelsystemet ändå utgöra ett värdefullt hjälpmedel vid skattning av "hundraårsflödet".

Biträde med beräkningar och skattningar av olikakarakteristiska vattenföringar, varaktighetsvärden samt högvattenföringar med visst rekurrensintervall vid det aktuella dammläget, kan mot avgift erhållas från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI. Uppgifter från vattenföringsmätningar finns arkiverade vid SMHI och kan mot en viss framtagningsavgift erhållas därifrån. En del av detta material finns sammanställt och publicerat i skriften "Vattenföring i Sverige" (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 1979).

4. PREPARERING AV BASSÄNGBOTTNEN

Den yta som kommer att upptas av dammbassängen kan kräva mer eller mindre omfattande prepareringsarbete. All grövre vegetation bör undanröjas. Detta dels för att vattenmagasinet i möjligaste mån skall ge intryck av ett naturligt vattenområde och inte se ut som en översvämmad yta där döda träd och buskar stör vattenspegeln, och dels för att inte kringflytande ris och grenar skall fastna i dammutskov eller vid pumpanläggningar. Matjorden behöver inte tas bort, men den kan å andra sidan genom försäljning bidra till att täcka en del av investeringskostnaden för vattenmagasinet. Täcktområden för vallbyggnadsmaterial skall befrias från all vegetation, rötter och matjord så att sådant inte blandas in i vallmaterialet.

Dränerings- och avloppsledningar som genomkorsar bassängområdet bör läggas om med helt täta rör eller helst ges en ny sträckning utanför fördämningsvallarna. Ledningarna kan annars förorsaka betydande läckage från magasinet. Beträffande ledningar för telefon och el bör man givetvis kontakta televerket respektive

berört elföretag för markering och eventuell omläggning.

I vissa fall kan åtgärder behöva vidtas för att tätta bassängbotten så att vatten inte i allt för stor omfattning kan läcka till djupare akvifärer eller sippra ut som grundvattenströmmar under eller vid sidan av fördämningen. Åtgärderna kan bestå i att botten packas eller att tätfyllningsmaterial, dvs. material med låg genomsläpplighet, påförs och packas i skikt över genomsläppliga ytor. Om berggrunden går i dagen eller frilägges bör sprickor i denna tätas med betong. Borrhål och provgropar som tagits upp i samband med geotekniska undersökningar bör återfyllas med tätande material. Mindre bassänger kan tätas genom att hela bassängytan täcks med plast- eller gummiduk. Underlaget måste då vara helt fritt från vassa stenar, grenar eller andra föremål som kan skada duken. Eventuellt måste ytan även avjämnas med ett sand- eller gruslager.

5. FÖRDÄMNINGSVALLEN

5.1. Allmänna krav på en fördämning

Oberoende av om ett vattenmagasin placeras i ett vattendrag eller vid sidan av som en friliggande bassäng krävs nästan alltid någon form av fördämningsvall som dämmer upp vattnet i vattendraget eller innesluter det i bassängen. Vid projektering av fördämningsvallen har man att möta en rad krav beträffande vallens grundläggning, konstruktion och yttre utformning. De rent tekniska kraven kan sammanfattas i följande punkter:

- Grunden skall kunna bära lasten av fördämningen utan att alltför stora sättningar uppstår. Sättningar kan medföra farliga sprickbildningar i vallkroppen, särskilt om sättningen sker ojämnt till följd av skiftande grundförhållanden eller felaktigt utförd återfyllnad av provgropar, ledningsgravar och liknande.
- Skredstabiliteten i grunden och i vallen skall vara så god att man med tillräcklig säkerhetsmarginal inte riskerar att skred utlöses ens vid maximal uppdämning med samtidigt påförd annan belastning, t.ex. i form av trafik eller uppställda fordon.
- Vallen skall ha tillräcklig egenvikt och anläggas så att den inte under inverkan av vattentrycket kan glida på underlaget.
- Genomsläppligheten i grunden och i vallen måste vara tillräckligt låg så att inte vattenförlusterna genom läckage blir för stora och så att inte vattenutströmningen nedströms fördämningen blir så kraftig att erosions-skador uppstår.
- Erosionskänsligt material i vall och grund bör undvikas eller skyddas med filtermaterial så att materialtransport med genomströmmande vatten förhindras.
- Skikt med hög genomsläpplighet eller andra anvisningar till koncentrerade

läckvattenvägar måste elimineras så att inte inre erosion och "rörbildning" (eng. piping) initieras.

- Vallen måste kunna motstå eller skyddas mot yttre erosion; på uppströms-sidan orsakad av vågskvalp, på krönet och nedströmssidan av nederbörd.
- Vallen bör tillåta trafik med arbetsredskap och fordon för underhåll och skötsel av anläggningen.

Av ekonomiska skäl måste det mesta av vallbyggnadsmaterialet finnas tillgängligt på platsen. Av estetiska skäl bör vallen ansluta så väl som möjligt till den naturliga topografin i området. Vallen bör såvitt möjligt läggas i mjuka linjer.

5.2. Inre erosion

Vid grundvattenströmning, exempelvis vid läckvattnets strömning genom en fördämningsvall, kan erosion uppkomma där vattnet strömmar över från ett finkornigt material till ett grövre, eller där grundvattnet strömmar upp genom markytan. Erosionen innebär att fint jordmaterial rycks loss under inverkan av vattnets friktion mot jordpartiklarna och transporteras bort av vattenströmmen. Förutsättning för att erosionen skall uppstå är att vattenhastigheten är tillräckligt stor och att det lämnas fria transportvägar för materialet. Inre erosion kan initieras särskilt lätt på följande ställen i fördämningen: 1) i utströmningsområden på fördämningens nedströmssida, 2) i övergångar från tätfyllningsmaterial till grövre material samt 3) längs ledningsgenomföringar eller andra strukturer genom fördämningen dit läckvattenströmmar lätt koncentreras. Urtvätningen av finmaterial medför ökad genomsläpplighet, tryckfallet per längdenhet ökar i den opåverkade delen av fördämningen genom att vattnet får mer eller mindre fritt utlopp, läckvattenströmmen koncentreras ytterligare, vattenhastigheten ökar och transportvägar för nytt finmaterial öppnas. Erosionen kan alltså fortskrida bakåt med accelererad takt och dra med sig även grövre jordmaterial. Så småningom kan s.k. rörbildning, dvs. helt öppna strömningsvägar, uppstå genom eller under fördämningsvallen.

Urspolning av finmaterial från jordfyllningen kan förhindras genom att filtermaterial placeras dels som övergångszoner mellan tätfyllning och grövre material och dels vid vattnets utströmningsområden på fördämningens nedströmssida. Ett lämpligt filtermaterial skall enligt Reinius (1968b) uppfylla följande krav:

- Det skall ha större genomsläpplighet än det material som skall skyddas, det s.k. basmaterialet.
- Det skall ha tillräckligt små porer så att materialtransport från basmaterialet inte kan äga rum.
- Det skall bestå av tillräckligt stora partiklar så att dessa inte kan trans-

porteras bort av vattenströmmen eller in i det utanför liggande materialet.

För att samtidigt uppfylla de tre kraven ovan, kan det vara nödvändigt att låta filtret bestå av flera skikt med olika kornfraktioner. Kornstorlekarna skall då öka i vattenströmmens riktning. Kriterier för lämpligt filtermaterial med utgångspunkt från basmaterialets kornfördelningskurva redovisas i fig. 7.

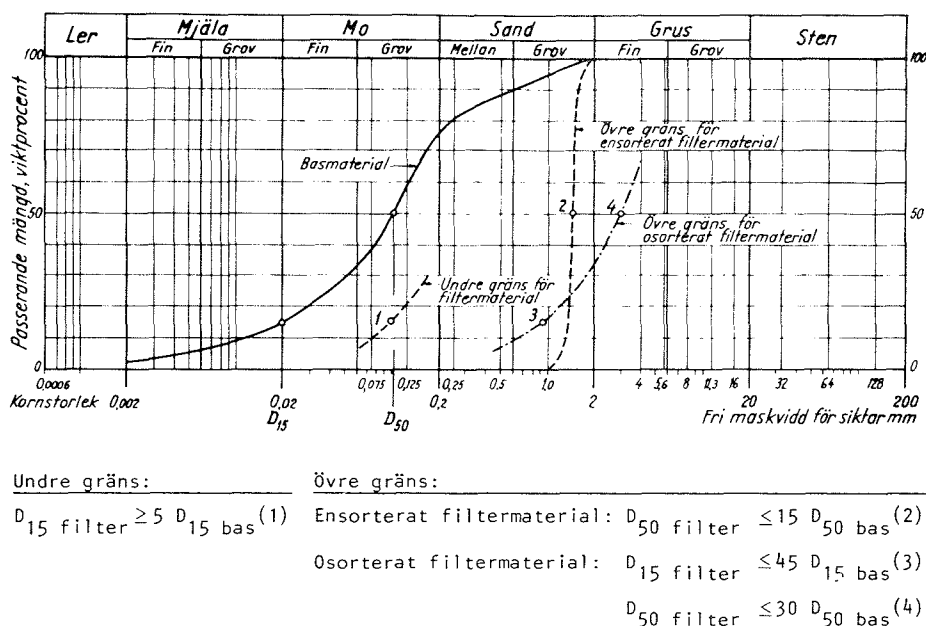


Fig. 7. Kornstorleksgränser för filtermaterial (efter Statens Vattenfallsverk, 1958).

Grain size restrictions for filter material.

Olika sätt att placera filtermaterial i syfte att förebygga bakåtskridande inre erosion tas upp under avsnitten 5.3 och 5.6.

En annan metod att minska riskerna för inre erosion är att förlänga läckvatenvägarna. Härigenom minskas tryckfallet per längdenhet av strömningsvägen och därmed vattenhastigheten. Sådana åtgärder behandlas under avsnitten 5.3 och 6.1.

5.3. Grundläggningsåtgärder

Den geotekniska undersökning som vanligtvis föregår projekteringsarbetet bör ge underlag för en bedömning av vilka grundläggningsåtgärder som behöver vidtas. Medan anläggningsarbetena pågår kan dock ytterligare information beträff-

ande grundens beskaffenhet framkomma, varför det kan finnas anledning till en förnyad bedömning av erforderliga åtgärder och ändringar i redan givna anvisningar.

Den ideala grunden består av lerig morän. Moräner är vanligen hårt packade av inlandsisen och har därför ringa sättningsbenägenhet. Karakteristiskt för moränjordar är att de innehåller partiklar av alla kornfraktioner. De grövre fraktionerna ger materialet stor inre friktion och bidrar därigenom till moräns goda stabilitetsegenskaper. De finare jordpartiklarna fyller ut hålrummen mellan de grövre och bidrar därmed till låg genomsläpplighet. Viktigt i sammanhanget är att det inte får finnas skikt eller linser med enbart grovt material, eftersom läckande vatten lätt koncentreras till de mest genomsläppliga jordlagren varvid inre erosion kan uppstå.

Minimum av grundläggningsåtgärder består i att vegetation och grova rötter avlägsnas från hela området där vallen skall byggas. Provgropar och borrhål återfylls med tätfillningsmaterial, dvs. material med låg genomsläpplighet, och packas efter hand i skikt av högst två till tre decimeters tjocklek. Matjorden schaktas undan, liksom den översta decimetern av alven. Matjorden bör placeras i tillgängliga upplag, då den lämpligen kan användas för att underlätta vegetationsetableringen på vallkrönet och vallens nedströmsslänt. Den avschaktade ytan ges gärna en svag lutning in mot den blivande dammbassängen för att motverka att vallen skall kunna glida på underlaget under inverkan av vattentrycket. Av samma skäl och för att avlägsna eventuella anvisningar till läckvattenvägar, t.ex. hjulspår tvärs vallens längdriktning, bör ytan bearbetas med exempelvis tallriksredskap innan fyllningen för vallen påföres. Bearbetningen skall göras i vallens längdriktning.

Om grunden består av material med hög genomsläpplighet finns ofta risk för inre erosion och dessutom kan det vara svårt att hålla vattenförlusterna på en acceptabel nivå. Vattenströmningen genom grunden kan i så fall minskas genom att grunden tätas eller genom att strömningsvägen förlängs.

Tätning kommer ifråga i de fall en mer svårgenomsläpplig horisont kan nås på rimligt djup. Tätningen utförs genom att ett dike, som tas upp i vallens längdriktning ned till det svårgenomsläppliga lagret, återfylls med tätare material, vilket packas omsorgsfullt i inte alltför tjocka skikt. Tätningen bör placeras under de centrala delarna av den blivande vallens tvärsektion eller i dess uppströmsdel så att det inte uppkommer alltför stort upptryck i nedströmsdelen, fig. 8.

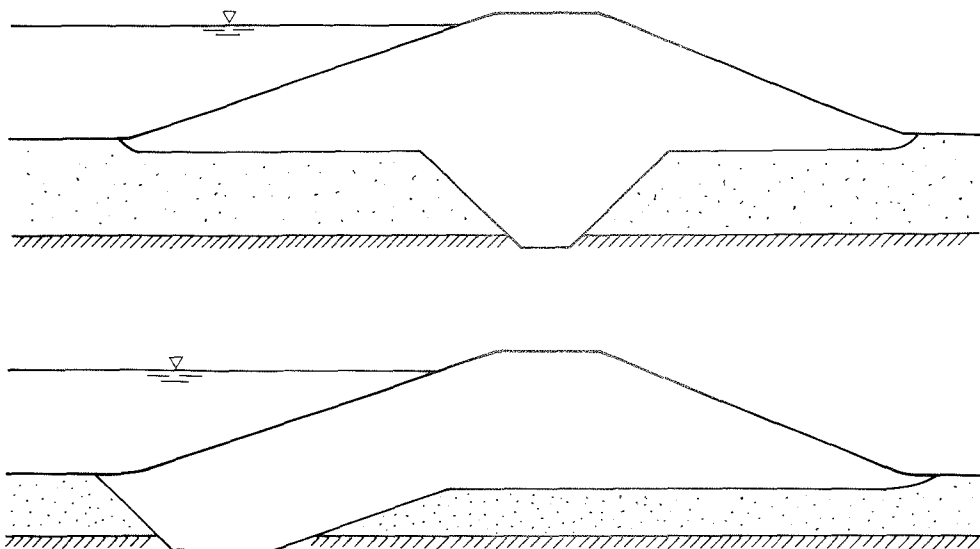


Fig. 8. Exempel på tätning av genomsläpplig grund som underlagras av en mer svårigenomsläpplig horisont.
Reinforcement of a permeable layer overlaying impervious material.

Är den genomsläppliga grunden så djup att man inte till rimlig kostnad kan nå en tätare horisont enligt den beskrivna metoden, kan läckaget minskas genom att man förlänger vattnets strömningsväg. Detta kan göras genom att inströmningsområdet närmast uppströms vällen förses med en bottenbeklädnad av tätfyllningsmaterial, fig. 9.

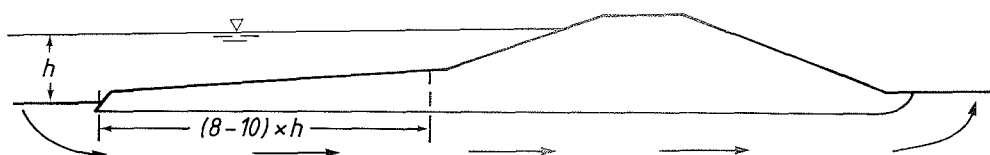


Fig. 9. Förlängning av läckvattenvägen genom att en bottenbeklädnad av tätfyllningsmaterial anbringas uppströms vällen.
Use of a clay blanket at the upstream side of the embankment to reduce seepage by extending the seepage path.

Då en tätfyllning placeras i ett grovkornigt material, vid exempelvis tätning av en genomsläpplig grund, bör risken för urspolning av finmaterial från tätfyllningen beaktas. Erosionen kan förebyggas genom att filtermaterial, uppfyllande de i avsnitt 5.2 givna filterkriterierna, placeras som en övergångszon mellan tätfyllningen och det grövre materialet.

Inom läckvattnets utströmningsområde nedströms en fördämning kan bakåtskridande inre erosion, rörbildning, initieras, särskilt om grunden består av genomsläppligt och lättransporterat material såsom mo eller sand. Denna erosion kan

förebyggas genom tätning av grunden eller genom att läckvattenvägarna förlängs, men också genom att man inte låter läckvattnet okontrollerat strömma upp genom markytan. Ett sätt är då att täcka den känsligaste delen av utströmningsområdet, vanligtvis inom några meter från släntfoten, med en bankett av filtermaterial som förhindrar att vattnet transporterar upp material från grunden, fig. 10a. Ett annat sätt är att med rör låta dränera grunden nedströms fördämningen, fig. 10b. Det fordras i så fall mycket noggrann kringfyllning runt dräneringsrören med filtermaterial så att vattnet kan avledas erosions-säkert.

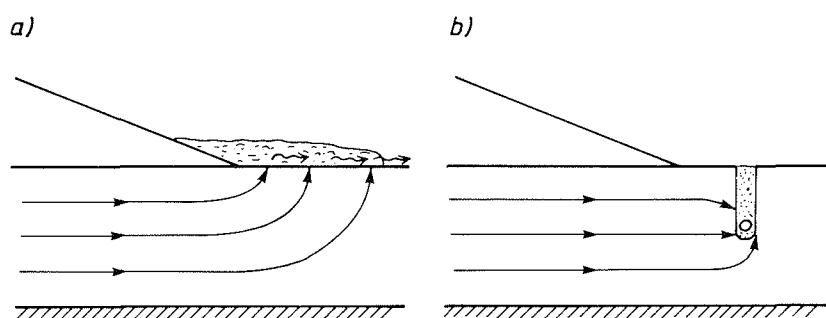


Fig. 10. Två sätt att förhindra erosionsfarlig grundvattenutströmning nedströms en fördämning.

Two ways to prevent erosion caused by emerging groundwater at the downstream toe of an embankment.

Grundläggning på lera medför sällan några problem från läckagesynpunkt, såvida inte markprofilen också innehåller skikt av mer genomsläppligt material eller har djupgående torksprickor. Däremot måste riskerna för skred och sättningar beaktas.

För att skredrisken ska kunna bedömas krävs mätningar av lerans skjuvhållfasthet samt beräkningar för olika möjliga glidytor. Skredrisken kan minskas genom att vallens slänter ges en mindre lutning eller förses med banketter så att belastningen fördelas över större yta. Härigenom förlängs den farligaste glidytan, varigenom de mothållande krafterna blir större.

Sättningar i grunden kan orsaka svåra sprickbildningar i dammen. Sättningsbenägen mark, dvs. svagt konsoliderad lera eller organogen jord, bör i möjligaste mån undvikas vid val av plats för en dammanläggning. Organogena jordarter har förutom dåliga bärighetsegenskaper ofta också hög genomsläpplighet. I fig. 11 ges några exempel på grundläggningsproblem där marken har dålig bärighet.

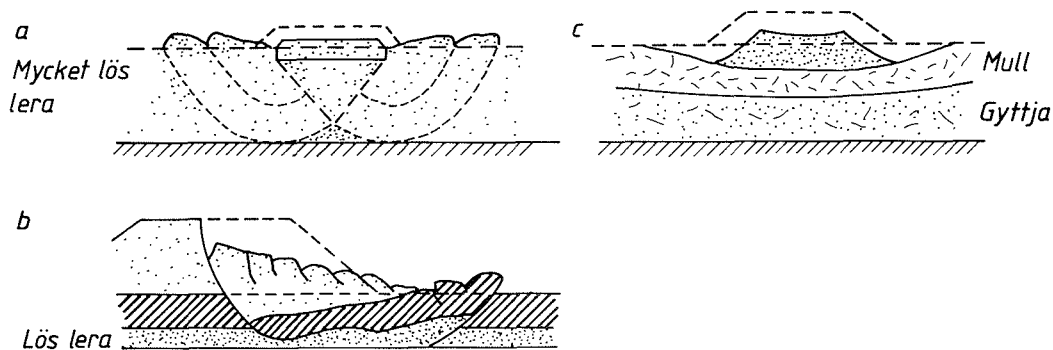


Fig. 11. Grundläggningsproblem där marken har dålig bärighet: a) Sättning orsakad av förskjutningar i djup och lös lera, b) Skred som utbildas i en lös lerhorisont, c) Sättning vid konsolidering av organogen jord (efter Sowers, 1979).

Foundation problems due to low soil bearing capacities: a) Subsidence from shear in thick soft clay, b) shear slide in a stratum of soft clay, c) Subsidence through consolidation.

Grundläggning av en jorddamm direkt på berg innebär sällan några problem från bärighetssynpunkt. För att jordfyllningen skall kunna ges god anslutning till bergytan bör denna friläggas samt rensas från allt löst och vittrat berg. Större ojämnheter, eventuella överhäng och avsatser bör kilas eller sprängas bort och håligheter gjutas igen med betong. Genomgående sprickor i berget kan orsaka betydande läckage varför dessa måste lokaliseras och tätas. Tätning kan ske genom att sprickorna fylls med en lättflytande cementvälling efter att spricköppningarna borstats rena och vattenspolats.

Om vallbyggnadsmaterialet tas från den blivande bassängbotten, eller om denna av andra anledningar fördjupas bör en bankett på några meter lämnas närmast valläget, så att inte grunden onödigtvis försvagas eller att läckvattenvägarna förkortas.

5.4. Vallbyggnadsmaterial

Man brukar särskilja två olika typer av vallkonstruktioner, homogena vallar och vallar med någon form av tätning. En homogen vall består, som benämningen anger, av ett och samma fyllningsmaterial genom hela vallsektionen. Därför krävs ett vallbyggnadsmaterial som samtidigt kan fylla både en tätande och en stödjande funktion. Moränjordarter med en finkornhalt (partiklar mindre än 0,074 mm) av mellan 15 och 30 à 40 procent är lämpliga från både stabilitets- och täthetssynpunkt (Forssblad, 1967). Material med hög lerhalt har sämre stabilitetsegenskaper och blir dessutom svårare att packa.

I vissa fall är det fördelaktigt att uppföra en vall där en tätfyllning av lera eller morän omges av en stödfyllning bestående av mer genomsläppligt friktionsmaterial. För tätfyllningen ställs då högre krav på låg genomsläpplighet men lägre krav beträffande stabilitetsegenskaper än för fyllningsmassorna till en homogen vall. Sedimentär lera är här mer acceptabel än i en homogen vallkropp. Observera att det kan finnas behov av en filterzon i övergången mellan tätfyllning och stödfyllning för att förhindra materialtransport från tätfyllningen.

Schaef (1972) anger som riktlinje att jordmaterialet i en homogen damm skall kunna packas till en genomsläpplighet av högst $1 \cdot 10^{-6}$ m/s och att en tätfyllning som omges av stödfyllning skall kunna packas så att genomsläppligheten blir högst $1 \cdot 10^{-7}$ m/s. Statens Vattenfallsverk (1958) har med hänsyn till risken för urspolning av finmaterial satt övre gränsen för en tätfyllnings genomsläpplighet till 0,1 cm/tim ($2,8 \cdot 10^{-7}$ m/s).

Stödfyllningen kan i princip bestå av vilket jordmaterial som helst som inte är känsligt från erosions- eller stabilitetssynpunkt. Finkorniga sedimentära jordarter med alltför enhetlig kornsammansättning bör undvikas i en stödfyllning. Mo- och mjälajordarter kan i vattenmättat tillstånd börja flyta. Sten och grus lämpar sig däremot väl som stödfyllning. Från packningssynpunkt är även här ett välgraderat material att eftersträva.

I fördämningar bör organogena jordarter inte alls förekomma, eftersom de är starkt sättningsbenägna och överhuvudtaget instabila. På grund av den låga volymvikten lämpar de sig inte ens till stödfyllning.

5.5. Packning av jordmaterial

Packning av ett jordmaterial innebär att jordpartiklarna genom påförd last och vibrationer eller ältning tvingas till en tätare lagring. Härigenom får jorden en högre torrdensitet (torr volymvikt) och lägre vattengenomsläpplighet samt därtill bättre stabilitetsegenskaper sedan eventuellt uppkommet vattenöverskott dränerats av.

För varje jordmaterial finns en viss optimal vattenhalt vid vilken ett visst packningsarbete ger optimal effekt, fig. 12 och 13. Friktions- och vidhäftningskrafterna mellan jordpartiklarna avtar med ökande vattenhalt (om man bortser från mycket torr jord), vilket gör att packningsarbetets effektivitet ökar med vattenhalten så länge den är under optimalvattenhalten för packning. En vattenhalt över den optimala medför att packningen åstadkommer ett vatten-

överskott i porsystemet. I tät jord kan inte detta vattenöverskott snabbt dräneras av. Vattenöverskottet omöjliggör fortsatt komprimering. Den optimala vattenhalten kan bestämmas på laboratorium genom s.k. instampningsprov (Proctorpackning, modifierad Proctor).

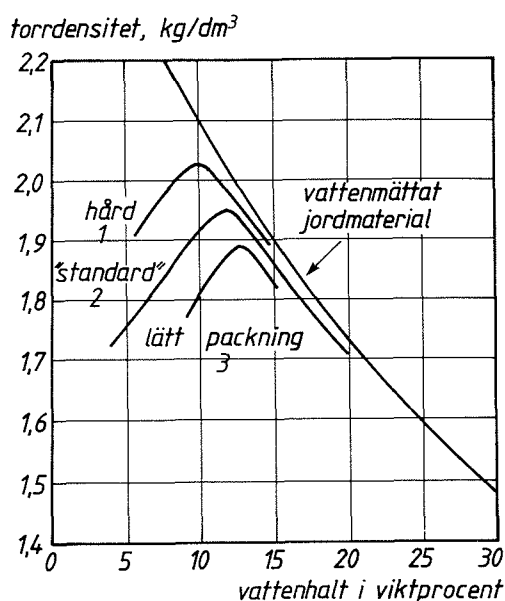


Fig. 12. Vattenhaltens betydelse för packningsresultatet vid olika hårt packningsarbete (efter Reinius, 1968b).

Relationship between water content and bulk density at different degrees of compaction (1) Hard, (2) standard, (3) light.

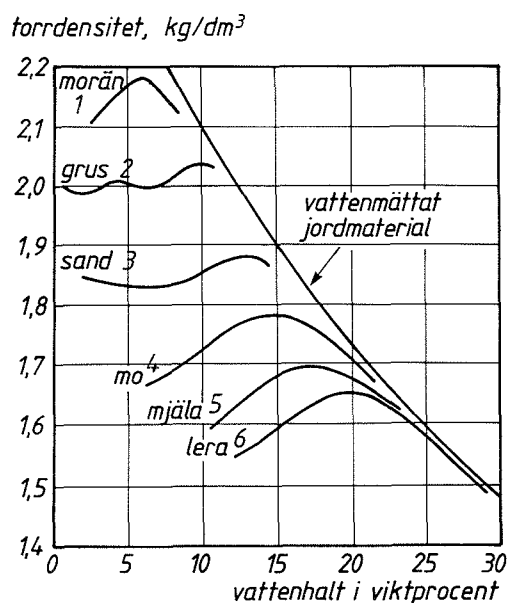


Fig. 13. Vattenhaltens betydelse för torrdensiteten efter instampningsprov (modifierad Proctor) för olika typer av jordmaterial (efter Forssblad, 1967).

Relationship between water content and bulk density on different soil types in modified Proctor test. (1) Moraine, (2) gravel, (3) coarse sand, (4) fine sand, (5) silt, (6) clay.

Som framgår av fig. 12 är den optimala vattenhalten för att uppnå hög torrdensitet något lägre vid hårdare packningsarbete. Av fig. 13 framgår att den optimala vattenhalten är högre för de finkorniga jordarterna än för de grovkorniga. Som komplement till fig. 13 kan nämnas att den optimala vattenhalten för packning av sandiga, moiga och leriga moräner ligger mellan 6 och 12 viktprocent. Så kallad modifierad Proctorpackning resulterar här i en torrdensitet av mellan 1,7 och 2,2 kg/dm³ (Statens Vattenfallsverk, 1958).

United States Bureau of Reclamation (1973) rekommenderar att fyllning till jorddammar packas vid en vattenhalt i närheten av eller strax under den optimala. En tumregel som anges av Schwab m.fl. (1966) är att vattenhalten är op-

timal när jorden är för våt att bruka men ändå inte så våt att vatten frigörs vid packning. För att fyllningsmaterialet skall erhålla rätt vattenhalt kan det vara nödvändigt att med hjälp av vattenspridare fukta massorna. Uppfuktingen bör dock utföras med största försiktighet då det kan ta lång tid att torka ett alltför vått material.

Vallmaterialet packas i horisontella skikt om 10 till 40 cm alltefter jordmaterial, vattenhalt och packningsmetod. För att eventuellt regnvatten inte skall ansamlas på vallen och därigenom fördröja arbetet, bör den under byggnad varande vallen redan från början ges en svag välvning eller en svag lutning mot uppströmssidan. Packningsarbetet utförs med fördel medelst gummi-hjulsvältar eller vibrationsvältar. Skikttjocklek och erforderligt antal överfarter bör föreskrivas i det geotekniska utlåtandet. Band- eller hjullastare kan också användas för packningsarbetet men då krävs i regel ett större antal överfarter och mindre skikttjocklek.

För en tät kärna som har stöd på båda sidor kan den s.k. våtpackningsmetoden som utvecklats vid Statens Vattenfallsverk vara användbar. Metoden beskrivs ingående i Statens Vattenfallsverk (1958). Vid våtpackning packas fyllningen vid en vattenhalt nära materialets flytgräns. Vattnet fungerar som smörjmedel mellan jordpartiklarna vilket underlättar omlagringen, och materialet fyller ut hålrum och ojämnheter bättre än då packningen utförs vid lägre vattenhalt. För att erhålla tillräckligt låg genomsläpplighet åtgår därför betydligt mindre packningsarbete än då materialet har s.k. optimal vattenhalt. Vid våtpackning uppstår dock höga porvattentryck vilket ger fyllningen sämre stabilitetsegenskaper. På grund av att vattenöverskottet dräneras av långsamt i den täta fyllningen uppstår lätt sättningar i vallen efter dess färdigställande. Våtpackning utföres lämpligen med bandtraktor i 25 cm tjocka skikt.

Schaef (1972) menar att man kan tillåta att packningen utförs vid en vattenhalt något över den optimala vid uppförandet av låga dammar, eftersom ett högt porvattentryck där inte behöver äventyra säkerheten.

Uppbyggnad av fördämningsvallen med tjälade jordmassor ger dåligt resultat, eftersom den hopfrusna jorden inte kan packas till samma packningsgrad som under normala förhållanden (Forssblad, 1967).

5.6. Vallens stabilitet

Stabiliteten i en fördämningsvall är förutom av jordmaterialets stabilitetsegenskaper starkt beroende av vattnets strömningsvägar och porvattentrycket

i vallens olika delar. Strömningsvägarna och tryckförhållandena kan åskådliggöras med hjälp av ett strömnät, fig. 14. Strömnätet består av strömlinjer vilka markerar strömningsriktningen och ekvipotentiallinjer som sammanbinder punkter med samma hydrauliska tryckhöjd. Strömnätet begränsas uppåt av den s.k. sippringslinjen (eng. seepage line). Längs denna linje råder atmosfärstryck, dvs. porvattentrycket är noll och linjen kan därför sägas utgöra en grundvattenyta. Strömnätets utsträckning nedåt begränsas av förekommande skikt med väsentligt lägre genomsläpplighet.

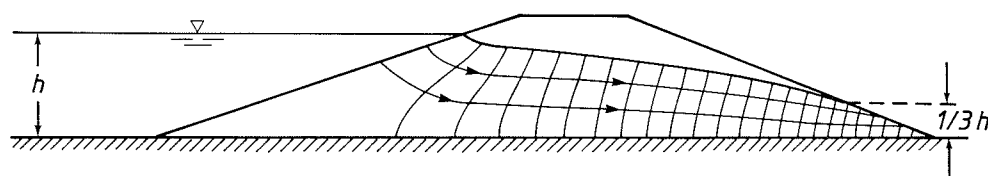


Fig. 14. Strömnät i en homogen vall på ogenomsläpplig grund.
Flow net in an homogeneous dam on impervious foundation.

Sippringslinjens sträckning genom vallen och därmed hela strömnätets utseende beror av vattennivån på uppströmssidan, fördämningsvallens geometri, genomsläpplighetsförhållandena i vall och grund samt grundvattensituationen i området. Åtgärder ägnade att tätare vall eller grund liksom olika dräneringsåtgärder kan radikalt ändra strömningsbilden.

Strömningssituationen i en homogen vallkropp på en ogenomsläpplig grund framgår av fig. 14. Sippringslinjen skär där nedströmsslänten vid en nivå motsvarande ungefär en tredjedel av dämmningshöjden, h . Detta gäller oberoende av vallens bredd och oberoende av vallmaterialets genomsläpplighet, under förutsättning att genomsläppligheten är väsentligt större i vallen än i grunden och att vallen är homogen ur genomsläpplighetssynpunkt. Nedanför sippringslinjens utträdesnivå strömmar vatten ut genom släntytan, vilket gör denna ytterst känslig för erosion. Utströmningen på nedströmsslänten kan förhindras om man på något sätt dränerar av vallis nedströmsdel. Detta kan exempelvis ske genom ett grusfilter som placeras vid vallis nedströmstå som i fig. 15.

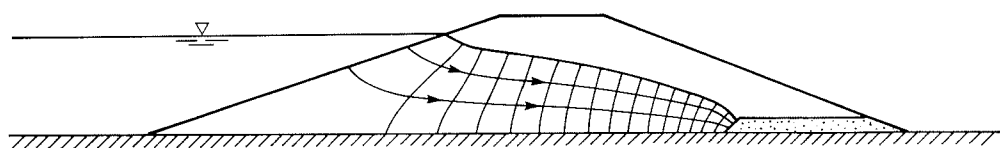


Fig. 15. Ett dränerande grusfilter i vallis nedströmsdel förhindrar utströmning på nedströmsslänten samt minskar dessutom vattenmättnaden och porvattentrycket i vallis nedströmsdel.

Use of a gravel filter at the downstream toe to prevent emergence of seepage flow and to decrease water saturation and pore pressure in the downstream section of the embankment.

Dräneringens uppgift är att på ett erosionssäkert sätt ta hand om det genomströmmande vattnet och leda det vidare innan det når släntytan. Dräneringen åstadkommer därvid också att porvattentrycket minskar i vallens nedströmsdel, vilket gör att risken för skred minskar. Vid dimensioneringen av grusfiltret bör man beakta filterkriterierna som ges i avsnitt 5.2 för att inte riskera inre erosion eller igensättning av filtret. Sörj även för att vattnet på ett erosionssäkert sätt kan ledas vidare bort från fördämningen.

Beräkning av vallens stabilitet gentemot jordskred kan göras med utgångspunkt från antaganden om olika möjliga brottytor. För beräkningarna krävs att man känner skjuvhållfastheten i vallen och grunden. Skjuvhållfastheten i ett jordmaterial kan variera kraftigt med portrycket. Därför bör stabilitetsberäkningar utföras för de mest ogynnsamma belastnings- och dräneringssituationer som kan tänkas uppstå.

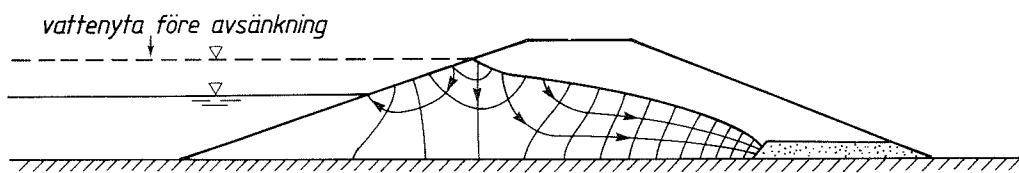


Fig. 16. Strömningssituationen vid en snabb avsänkning av vattenståndet i bassängen.

Flow net following rapid drawdown of water level in the reservoir.

För vallens uppströmssida inträffar en kritisk situation vid en hastig avsänkning av vattenståndet i dammbassängen. Genom att det hydrostatiska trycket i bassängen plötsligt minskar kommer porvattnet i vallen att stå under ett övertryck i förhållande till den nya vattenytan, tills en ny jämvikt hinner inställa sig. Jämvikten uppnås genom att porvatten dräneras mot områden med lägre tryck, vilket i vallens uppströmsdel innebär att vatten kommer att strömma ut mot släntytan, fig. 16. Härvid uppstår strömningskrafter riktade inifrån mot släntytan. Genom avsänkningen har också den mothållande kraft som vattnets tyngd utgjort mot slänten minskat. Den farligaste brottytan eller glidyten kan tänkas ha en cirkulärcylindrisk form och sträcka sig från dammtån till krönet, men vanligare är att glidyten är mindre och koncentrerad till området där vattenytan skär släntytan (Reinius, 1968b).

För vallens nedströmssida uppstår de ur stabilitetssynpunkt mest kritiska lägena dels då dammbassängen första gången fylls helt och dels då bassängen stått helt fylld under en längre tid och vallen kanske dessutom belastas med t.ex. fordon. Vid den första uppdämningen kan höga portryck kvarstå från tiden för

anläggningsarbetena. Detta kan medföra att vallens hållfasthet inte hunnit utveckla sig till fullo för att motstå strömningskrafterna vid uppdamningen. Efter en långvarig uppdamning utvecklas strömningskrafterna maximalt, vilket i vissa fall kan utgöra den situation som bör vara dimensionerande för vallens nedströmsslänt.

Stabilitetsberäkningarna för nedströmssidan berör vanligen även grunden under vallkroppen. Är djupet till fast botten stort involveras ofta stora jordmassor i ett tänkt skred. Den farligaste brottytan antas ofta även här vara cirkulär cylindrisk, men om vallen är försedd med tätkärna eller om grundförhållandena är komplicerade kan andra brottytor aktualiseras. Nedströmssidans stabilitet kan förbättras genom att porttrycket minskas, antingen som tidigare nämnts genom att en dränering placeras vid vallfoten eller genom att vallen tätas i uppströmsdelen. Tätning eller dränering av grunden i syfte att minska upptrycket förbättrar också nedströmssläntens stabilitet.

5.7. Tätning av vallen

Åtgärder för att täta en fördämningsvall kan syfta till att minska vattenförlusterna, att minska riskerna för inre erosion eller att öka vallens stabilitet. Tätningens stabilitetsfrämjande verkan beror på att tätningen ger ett lägre porttryck i vallens nedströmsdel, eftersom en större del av vattnets tryckhöjd förbrukas vid passage genom tätningsskiktet. Härav följer också att sippringslinjen, som ju påverkas av tryckförhållandena i vallen, får en lägre nivå nedströms ett tätningsskikt än den skulle haft på motsvarande plats i en vall utan tätningsskikt. Eftersom strävan från stabilitetssynpunkt är att torrlägga så stor del av vallen som möjligt, bör tätningen placeras så långt uppströms som möjligt, jfr fig. 17. Det är av stor vikt att vallens tätningsskikt ges en god anslutning till tät grund eller till den tätning av grunden som eventuellt utförts, eftersom läckvattenströmmar lätt koncentreras till tätningens undre begränsningsyta, vilket kan leda till erosion.

Tätningen utförs vanligen av morän eller lera som packas till en kärna i den centrala delen av vallens tvärsektion eller till en skärm i dess uppströmsdel, fig. 17a och b. Tätningsszonens dimensioner bör bestämmas från fall till fall med hänsyn till kvalitet och tillgång på tätfyllningsmaterial samt anpassas till metod och utrustning för packningsarbetet. I engelska anvisningar (Ministry of Agriculture Fisheries and Food, 1977) ges riktlinjer för dimensionering av en central tätkärna, vilka framgår av fig. 18.

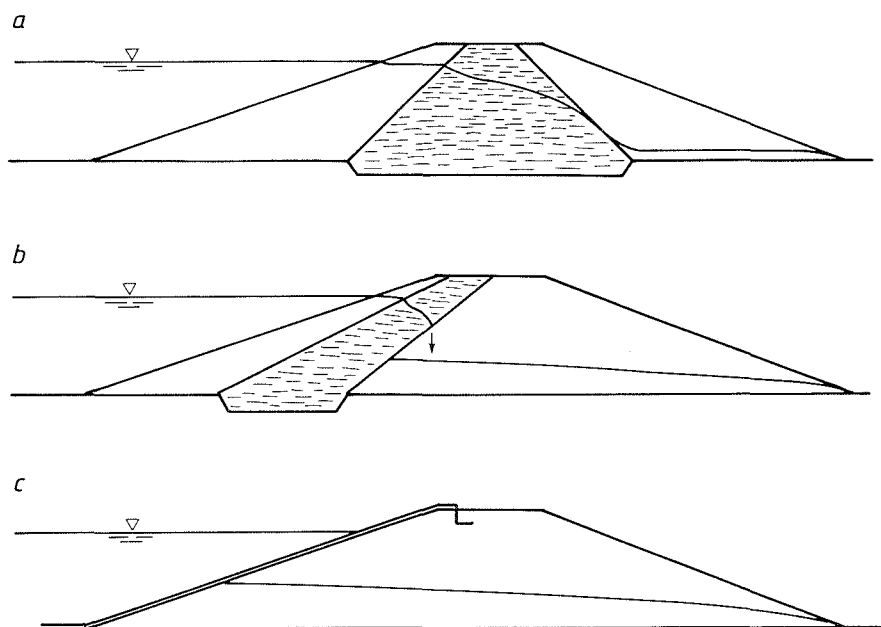


Fig. 17. Olika sätt att täta en fördämningsvall: a) Tät kärna av lera i vallens centrala del, b) lutande tätskärm i vallens uppströmsdel, c) tätskikt av plast- eller gummiduk på uppströmsslänten.

Different ways to seal an embankment: a) Clay core in the central section, b) inclined core in the upstream section, c) membrane lining of the upstream slope.

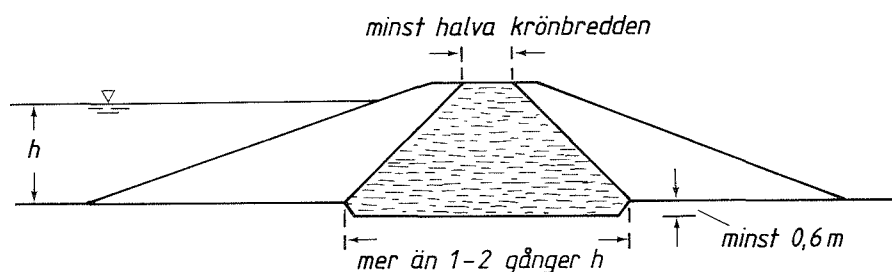


Fig. 18. Dimensionering av tät kärnan enligt engelska anvisningar (efter Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, 1977).

Dimensions of the central core according to Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.

Beträffande dimensioneringen av en lutande tätskärm anges i tyska anvisningar (Institut für Wasserwirtschaft, 1975) att skärmen skall packas i minst två skikt om vardera 15 cm. Minimitjockleken blir då 30 cm. Med tanke på sättningar, risk för sprickbildning ifall leran i tätskiktet får tillfälle att torka ut eller frysa och liknande bör skärmen endast i undantagsfall göras så tunn som 30 cm. En tunn skärm ställer dessutom större krav på filter mellan skärmen och stödfyllningen. Vidare skall skärmen täckas med minst 100 cm stödfyllningsmaterial mot uppströmssidan.

För tätning av jordvallar kan också bentonit, ett vulkaniskt lermineral, användas. Bentoniten har stor benägenhet att absorbera vatten, och sväller i

vatten till 10-15 gånger sin ursprungsvolym. Bentoniten blandas i torrt tillstånd in i ett 20-40 cm tjockt skikt av jordmaterialet på vallens uppströms-sida som därefter packas. Den mängd bentonit som åtgår kan variera mellan 5 och 40 kg per kvadratmeter alltefter bentonitkvalitet, inblandningsmetod, jordartstyp och vattenbeskaffenhet. En "normal" åtgång är 10-15 kg. Då bentoniten sväller tätas porerna i jordskiktet effektivt. En annan möjlighet utgör den s.k. slitsmurstekniken. Härvid grävs ett smalt dike i vallen samtidigt som en uppslamning av bentonit i vatten tillförs i diket. Schaktväggarna stabiliseras omedelbart av bentonituppslamningen, varför dessa kan göras lodräta. De uppgrävda massorna används för återfyllnad av diket.

Syntetisk tätningsduk används vanligen för heltäckande tätning av botten och vallar till mindre bassänger. Tätningsduk kan dock givetvis användas även för tätning av enbart vallarna till ett större vattenmagasin. På marknaden finns tätningsduk av bl.a. polyeten, PVC (polyvinylklorid), ECB (etylen-copolymer-bitumen) och butylgummi av varierande tjocklekar. Hållbarheten är förutom av material, tjocklek och eventuell armering i hög grad avhängig hur duken installeras. Det är av stor vikt att underlaget som duken skall vila på är väl avjämnat och fritt från föremål som vassa stenar, grenar och rötter vilka kan skada duken. Det är ofta nödvändigt att jämna av ytan med ett 10-20 cm tjockt gruslager. Tätningsduken förankras på vallkrönet exempelvis genom att kanten förs ned i ett dike enligt fig. 19.

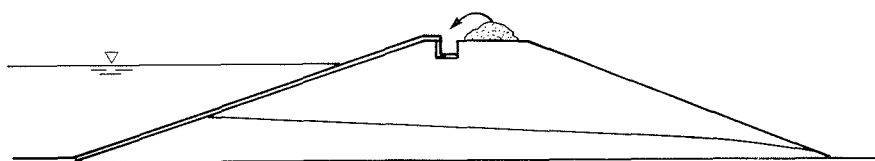


Fig. 19. Förankring av tätningsduken på vallkrönet.
Anchoring the lining at the top of the embankment.

Tätningsduk av butylgummi placeras vanligen utan skyddstäckning direkt på uppströmsslänten, medan PVC- och polyetenduk för att skyddas mot solljusets strålning bör byggas in i vallen eller täckas med t.ex. grus eller fiber-matta. Den ultravioletta strålningen förmår inte tränga igenom vatten, varför det i första hand är de ytor som kommer att befinna sig ovan lägsta vatten-nivån som behöver skyddas. För installationen kan i regel erhållas detaljerade anvisningar eller medverkan av leverantören.

5.8. Vallens yttre utformning

Vid dimensionering av en fördämningsvall har projektören att ta ställning till vallens höjd över högsta dämningssnivån, vallkrönets bredd, släntlutningar samt dimensioner och placering av eventuella banketter på slänterna.

5.8.1. Fribord

Skillnaden mellan den färdiga vallens krönnivå efter beräknade sättningar och den högsta dämningssnivån brukar i dammbyggnadssammanhang benämnas fribord, fig. 20. Fribordet skall i första hand dimensioneras så att det skyddar mot vågöverslag. Vågornas höjd är förutom av vindhastigheten och vattendjupet beroende av den fria vattenspegelns längd. Amerikanska rekommendationer (United States Department of Agriculture, 1969) anger att fribordet med hänsyn till våghöjden skall vara minst 0,3 m då bassängens största längd är högst 200 m. För bassänger med en största längd på mellan 200 och 400 m skall fribordet vara minst 0,45 m.

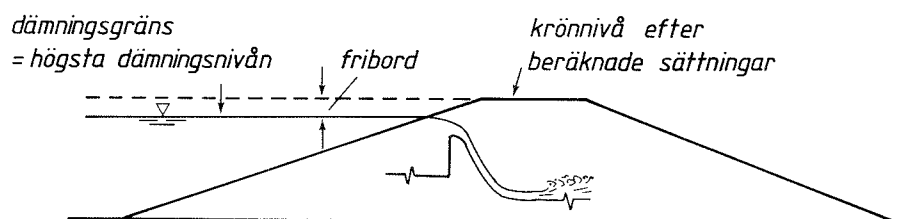


Fig. 20. Fördämningens fribord.
Freeboard of the dam.

Krav på fribordshöjd enligt östtyska normer framgår av tabell 5. Består vallens tätande delar av tjälfarligt material skall fribordet också dimensioneras så att tjäle inte förmår tränga ned och luckra tätfyllningen nedanför högsta dämningssnivån. För sättningar efter vallens färdigställande bör göras ett tillägg till höjden av minst fem procent av vallens totalhöjd. Alltefter vallmaterial och packningsförfarande kan detta tillägg behöva göras betydligt större.

Tabell 5. Minsta fribordshöjd enligt TGL-92-013 (efter Schaef, 1972)
Minimum freeboard according to TGL-92-013

Fria vattenspegelns längd (km)	0,1	0,3	0,5	1,0	1,5
Fribord (m)	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1

5.8.2. Krönbredd

Vallkrönet bör vara minst tre meter brett i syfte att medge trafik med maskiner för underhåll och skötsel av vallar och bassäng. Görs fördämningsvallen högre än fem meter över markytan eller om den kommer att trafikeras ofta, exempelvis för skötsel av regleringsanordningar och liknande, kan det vara befogat att

göra vallkrönet bredare. Krönet bör ges en svag lutning in mot bassängen så att regnvatten avledes mot uppströmsslänten och inte infiltrerar i vallen eller rinner av över den vanligen oskyddade nedströmsslänten.

5.8.3. Släntlutningar

Med hänsyn till åtgången av vallmassor och till den areal som tas i anspråk för vallen önskar man ofta att bygga vallen med så branta slänter som möjligt. Släntlutningarna måste dock i första hand anpassas till kraven på vallens beständighet. Faktorer att ta hänsyn till utgör därvid bl.a. vallmaterialet, vallens konstruktion i övrigt, grundläggning samt de påfrestningar som vall och grund kan komma att utsättas för i varje enskilt fall.

Vid valet av släntlutning på vallens uppströmssida måste bl.a. vågerosionen samt riskerna för skred i samband med vattenståndssänkningar i bassängen beaktas. Vågerosionen angriper slänten i vattenlinjen genom att frigöra material och förflytta det från högre till lägre nivåer längs slänten, vilket till slut leder till en helt annan släntlutning än man planerat. Erosionens omfattning beror i hög grad av släntlutningen och vallmaterialet. Uppströmsslänten ges normalt en lutning av 1:3 à 1:3,5 (vertikal längd i förhållande till horisontell). Är materialet på släntytan erosionskänsligt, kan lutningen behöva göras mindre. Större släntlutning än 1:3 bör endast kunna komma i fråga om slänten genom särskilda åtgärder effektivt skyddas mot vågerosion.

Riskerna för skred på uppströmsslänten i samband med vattenståndssänkningar tilltar med ökad släntlutning. Har vallen försetts med någon form av inre tätning, är ofta skredrisken större än om vallen är homogent uppbyggd. Detta sammanhänger med att det porvattenövertryck som vid avsänkningen uppstår framför tätningen, endast kan minskas genom avledning mot uppströmsslänten. Dessutom utgör övergången mellan olika material ofta en potentiell glidyta för skred. Den ökade skredrisken på uppströmssidan till följd av tätningsåtgärderna kan kompenseras genom att slänten ges en svagare lutning.

Nedströmsslänten ges vanligen en lutning av omkring 1:2,5. Ibland måste emellertid lutningen göras svagare på grund av att jordmaterialets hållfasthetsegenskaper och förmåga att motstå erosion inte medger att lutningen 1:2,5 används. Består vallmaterialet av mo- eller mjälajordarter är riskerna stora att fyllningsmassorna skall visa tendens att flyta ut under inverkan av genomströmmande vatten, om slänten görs för brant. Kan man genom olika tätnings- eller dräneringsåtgärder minska vattenmättnaden och trycket i vallens nedströmsdel, kan slänten i vissa fall göras brantare än annars.

5.8.4. Erosionsskydd

Vågerosionen kan förhindras eller minskas genom tre olika typer av åtgärder:

- 1) Vallen kan förstärkas eller utformas så att den tål att utsättas för en viss vågenergi utan att erosion uppstår;
- 2) anordningar kan göras i syfte att bryta vågorna innan de slår mot vallen;
- 3) åtgärder kan vidtas för att minska risken för att större vågor bildas.

Ett exempel på den första gruppen av åtgärder är att uppströmsslänten beklädes med sten eller något annat material för att skydda jordvallen. En annan åtgärd inom denna grupp är att göra släntlutningen mindre. Detta medför att materialet ej så lätt lösgöres. Dessutom minskar erosionen genom att vegetationsetableringen gynnas. Om sten ingår i ett annars erosionskänsligt vallmaterial kan man förutse att det så småningom sorteras fram ett naturligt erosionsskydd. Innan ett sådant erosionsskydd blir verksamt, kan emellertid såväl släntlutning som krönbredd ha förändrats en hel del. Därför måste man i sådana fall redan vid anläggandet av vallen ge denna ett bredare krön än vad som annars skulle ha varit fallet.

För att bryta vågorna innan de slår an mot vallen, kan en rad stockar kedjas samman ända mot ända, liksom en timmerläns, och förankras ett par meter utanför vallen (United States Department of Agriculture, 1982).

Bassängens ytgeometri och vattendjup är av stor betydelse för den våghöjd en viss vindstyrka resulterar i. För att minska våghöjden kan den fria vattenspegelns största längd fram mot vallen begränsas genom att man låter schakta upp en ö eller några öar i bassängen. En minskning av bassängens djup dämpar också våghöjden, dels direkt eftersom den möjliga våghöjden begränsas av vattendjupet, dels också indirekt genom att vattenvegetation kan etablera sig om vattnet är grunt. Vidare kan läplanteringar runt bassängen bidra till att begränsa vågbildningen.

6. AVBÖRDNINGSANORDNINGAR

För vattnets avbördning från en dammbassäng anläggs olika typer av utskov. Dammar i vattendrag kräver i regel både bottenutskov och bräddavlopp. Bottenutskovet används för reglering av vattenföringen från magasinet. Det möjliggör också tömning av bassängen för underhålls- och reparationsarbeten samt kan utnyttjas för förbiledning av vattenströmmen under anläggningsskedet. Bräddavloppets uppgift är att avleda den tillrinnande vattenströmmen då vattenmagasi-

net är fullt och därmed förhindra att jorrdammen överströmmas eller överbelastas eller att oavsiktliga översvämningsskador uppstår uppströms dammen. I vissa fall kan bräddavlopp och bottenavlopp kombineras i samma utskovskonstruktion.

Bassänger som schaktas ut vid sidan av vattendrag behöver sällan förses med bräddavlopp. Här kan det i stället vara befogat att utforma intagsanordningarna så att fyllning över en viss nivå ej kan göras.

6.1. Bottenutskov

Bottenutskovet kan utgöras av en med regleringsanordning försedd rörledning genom fördämningsvallen. Med hänsyn till sättningsrisken bör ledningen om möjligt anläggas i icke omgrävd mark, dvs. under själva vallen. I vissa fall kan ledningen läggas i den gamla strömfåran, men oftast är en ledningsgrav vid sidan av strömfåran att föredra, eftersom ledningen då kan läggas helt rakt och på jämn botten.

Kringfyllning och packning av tätfyllningsmaterial närmast ledningen bör ägnas stor omsorg så att ledningen får ett fullgott sidostöd. Det är också av utomordentlig vikt att jordfyllningen närmast rören får minsta möjliga genomsläpplighet. Det uppstår annars lätt koncentrerade läckvattenströmmar längs ledningens utsida, vilka kan medföra farliga inre erosionsskador.

Läckvattenvägarna kan förlängas genom att ledningen förses med några kragar av betong, gummiduk eller annat lämpligt material (fig. 21). Härigenom minskar strömningsgradienten och vattenhastigheten och därmed även erosionsrisken. Kragar av mjukt material, som exempelvis butylgummiduk, är enligt Norges vassdrags- og elekrisitetsvesen (1982) att föredra, eftersom man då inte riskerar att ledningen vid eventuella sättningar blir hängande på kragarna. Enligt samma källa bör kragarna vara minst 1x1 m stora för ledningar med diametern mindre än 300 mm. För grövre ledningar bör kragarna sträcka sig minst 0,6 m ut från rörväggen. Infästningen mot röret skall vara helt tät. Butylgummiduk kan limmas mot röret. För packningsarbetet runt ledningen och närmast kragarna används handstamp och vibratorplatta.

Rörledningen måste göras helt tät så att vatten inte kan sippra ut och orsaka erosion kring den. Vidare skall ledningen ha tillräcklig hållfasthet för att kunna bära upp tyngden av ovanpåliggande jordmassor samt tåla packningsarbetet i samband med att fördämningsvallen anläggs. Beträffande största tillåtna fyllningshöjd över rören kan som exempel nämnas att armerade betongrör finns

för fyllningshöjder upp till tio meter över rörets hjässa. Plaströr av PVC tål under vissa förutsättningar upp till sex meters fyllningshöjd.

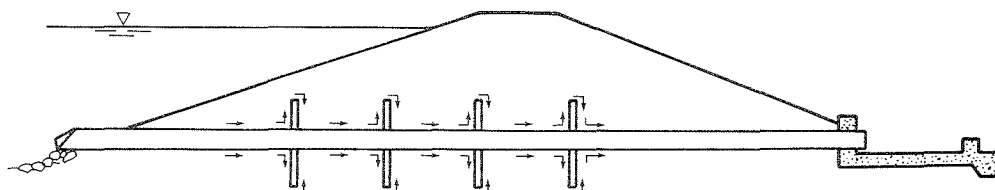


Fig. 21. Läckvattenvägarna längs rörledningen kan förlängas genom att denna förses med kragar.

Anti-seepage collars on the pipe to extend seepage path.

För att rörledningen skall kunna följa sättningar, utan att brott eller läckage uppstår, krävs att den besitter en viss flexibilitet. Plaströr och stål-rör har en viss böjlighet, medan det för betongrör erfordras rörliga fogar. Betongrör med gummiringsfog uppfyller i allmänhet både kravet på täthet och kravet på flexibilitet.

Bottenutskovets reglering anordning kan vara av mer eller mindre avancerad konstruktion. Skall bottenutskovet inte användas för reglering av en viss vattenförling, utan endast möjliggöra tömning av bassängen, kan utskovet regleras med en enkel klafflucka vid rörledningens inlopp. För att öppna en klafflucka, som ju hålls stängd med hjälp av vattentrycket, kan krävas ganska stor kraft. Om en lucka vinkelrätt tillsluter en rörledning med diametern 300 mm, belägen med rörcentrum 3 m under vattenytan, så verkar mot denna lucka genom vattentrycket en kraft av $1000 \cdot 9,81 \cdot 3 \text{ N/m}^2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,300}{2}\right)^2 \text{ m}^2 = 2080 \text{ N}$ eller 212 kp. För att underlätta öppnandet av en klafflucka kan den förses med hävstång och vajerspel (fig. 22).

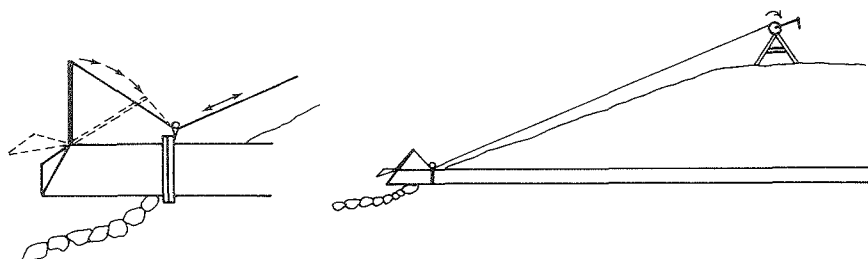


Fig. 22. Anordning för öppning av klafflucka.

Opening arrangement for a flap gate.

Skall en bestämd vattenförling släppas fram genom utskovet, t.ex. för förbrukning nedströms eller för att tillgodose eventuella krav på en viss minimi-

vattenföring, utrustas rörledningen i stället med en regleringsanordning som kan ställas i olika mellanlägen eller öppnas steglöst. Exempel på sådana är skilda typer av vridskiveventiler, skjutventiler och skjutluckor.

En skjutlucka av trä eller stålplåt kan placeras i ett schakt av tätt fogade brunnsringsar, jämför fig. 23. Schaktet placeras i den centrala delen eller i uppströmsdelen av valltvärsnittet. För styrning av luckan fastgjøtes på schaktets insida två I- eller U-balkar, s.k. gåtar. Luckan manövreras med ett järnspett som hävstång mot en s.k. bröstbalk ovanför schaktet. Eventuellt kan man låta finreglera vattenståndet i bassängen genom att ersätta den översta delen av skjutluckan med några träsättar som kan läggas in eller lyftas ur mellan gåtarna ovanför luckan. Luckan kan alltså på detta sätt tjänstgöra som en extra och reglerbar överfallströskel, över vilken man under vissa perioder kan låta vattnet brädda ut från bassängen på en nivå något lägre än det ordinarie bräddavloppets tröskelnivå.

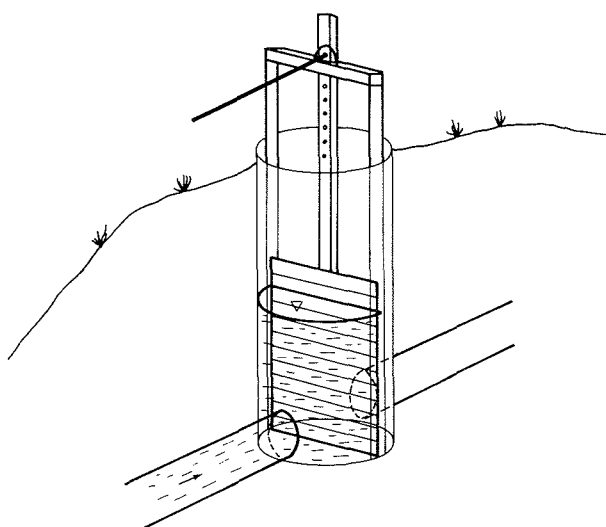


Fig. 23. Skjutlucka av trä placerad i ett schakt i vallen.
Slide gate sited in a pipe riser.

En annan typ av skjutlucka placeras direkt på det från schaktet utgående röret (fig. 24). Sådana luckor finns i handeln för såväl cirkulära som rektangulära genomlopp. En vridskiveventil (fig. 25) eller en skjutventil (fig. 26) kan monteras mellan rörflänsar på i princip vilken plats som helst utefter ledningen. För att undvika frostsprängning bör ventilen dock ej placeras öppet på nedströmssidan. Från säkerhetssynpunkt torde en placering i vallens uppströmsdel vara att föredra, eftersom rörledningen då inte behöver stå under ständigt övertryck. Därigenom minskar riskerna för och konsekvenserna av eventuella läckor i ledningen.

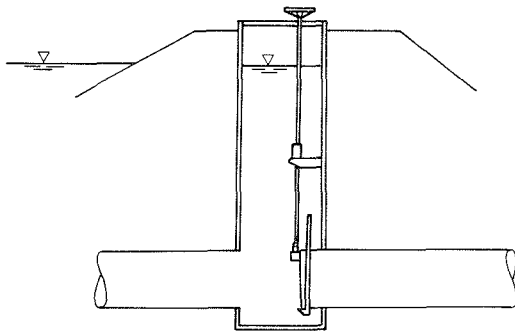


Fig. 24. Skjutlucka monterad direkt på den från schaktet utgående rörledningen.
Slide gate mounted directly to the outlet pipe.

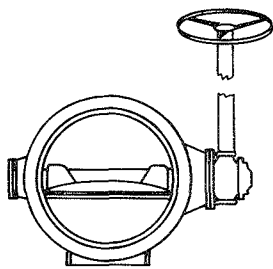


Fig. 25. Vridskiveventil.
Butterfly valve.

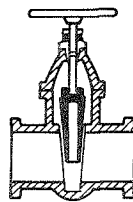


Fig. 26. Skjutventil.
Slide valve.

I syfte att förhindra att inloppet täcks av bottenslam bör det placeras någon meter in i bassängen i förhållande till vallfoten. Av samma skäl bör lokala lågpunkter i bassängbotten undvikas och inloppet läggas minst ett par decimeter över bottenytan. Inloppet förses med galler för att hindra att sjunkna grenar eller annan bråte som följer med vattenströmmen sätter igen utskovet.

Vid bottenutskovets inlopp och utlopp kan erosion lätt uppstå på grund av höga vattenhastigheter. Detta kan förebyggas genom att områdena närmast inlopp och utlopp förstärks med betonggjutning eller stensättning. Vid utloppet bör erosionsskyddet eller den s.k. stötbotten utformas så att vattnet tvingas att övergå från stråkande till strömmande vattenrörelse innan det släpps vidare i den oskyddade strömfåran. Vid övergången uppstår ett s.k. vattensprång. I vattensprånget sker en kraftig virvelrörelse varigenom en del av vattnets rörelseenergi övergår i värme. Enklast uppnås denna effekt genom att stötbotten förses med en tröskel (fig. 27) som ökar vattendjupet, vilket skapar förutsättning för en övergång till strömmande vattenrörelse.

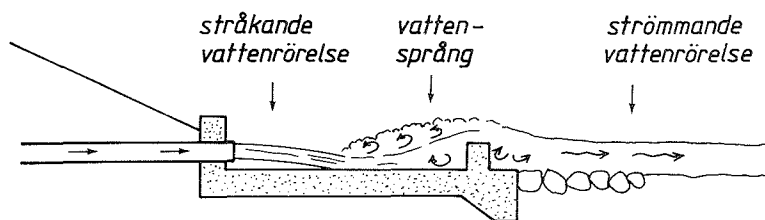


Fig. 27. Stötbotten vid bottenutskovets utlopp.
Stilling basin at the outlet.

6.2. Bräddavlopp

Ett bräddavlopp består i regel av ett överfallsvärn med eventuellt erforderliga öppna kanaler eller slutna ledningar från dammbassängen fram till överfallströskeln och från denna till vattendragets naturliga strömfåra. Bräddavloppets avbördningskapacitet bör medge att den dimensionerande högvattenföringen (se avsnitt 3.4) kan passera dammen, även om bottenavlopp eller andra regleringsanordningar skulle vara stängda eller blockerade.

Överfallströskelns nivå begränsar den nyttiga magasinvolymen. Önskemålet är därför vanligen att kunna sätta denna så nära i nivå med dämmningsgränsen som möjligt. Dämmningsgränsen anger det högsta vattenstånd som kan tillåtas med hänsyn till dammens säkerhet och eventuella skador på mark och egendom. Vid dimensioneringen bestämmer man alltså överfallsvärnets bredd med utgångspunkt från den dimensionerande vattenföringen och det vattenstånd vid vilket vattnet kan tillåtas börja brädda ut från bassängen. Därtill har man att beakta avbördningskapacitetens beroende av bräddavloppets hydrauliska utformning.

6.2.1. Öppet överfallsvärn

Ett öppet bräddavlopp kan utformas antingen så att en del av vallkrönet nedsänkes något och förstärkes för att tjäna som överfallströskel eller så att ett överfallsvärn placeras i en öppen kanal vid sidan av fördämningen. Några olika typer av öppna bräddavlopp visas i fig. 28. Med tanke på sättningar och erosion är det vanligtvis säkrare att anlägga bräddavloppet i orörd mark vid sidan av fördämningen i stället för i själva fördämningsvallen.

Erosion i strömfåran nedströms överfallsvärnet kan medföra att värnet undermineras. Detta kan förebyggas genom att bottnen här stensättes eller ges annan skyddande beklädnad. Erosionsskyddet bör utformas så att en så stor del som möjligt av vattnets rörelseenergi omvandlas innan vattnet strömmar vidare. Härigenom kan behovet av erosionsförebyggande åtgärder längre nedströms minskas.

Bräddavloppet, och framförallt de delar av detsamma som utsätts för höga strömningshastigheter, måste byggas av beständigt och "slitstarkt" material. Armerad betong rekommenderas för större bräddavlopp, medan trä kan var tillfyllest för mindre konstruktioner. Överfallströskeln och andra särskilt utsatta delar kan behöva stålskos för att i längden motstå erosion.

Vanligtvis utformas överfallsvärnet med en rektangulär öppning, dvs. utströmningsarean begränsas av en horisontell tröskel och värnets vertikala väggar, jämför fig. 28. Eftersom överfallets bredd kan varieras inom vida gränser lämpar sig öppna bräddavlopp väl både för små och stora dimensionerande vattenföringar.

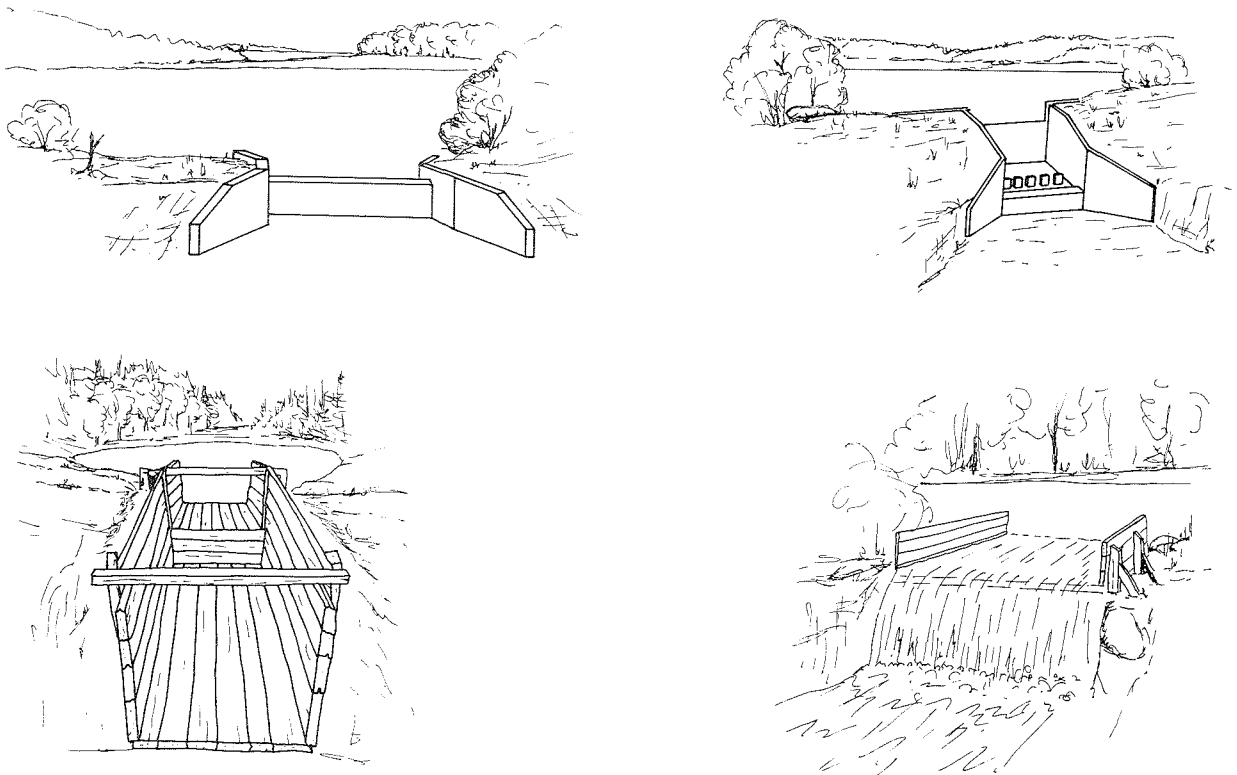


Fig. 28. Några olika typer av öppna bräddavlopp.
Different types of drop spillways.

Avbördningen genom ett överfallsvärn med rektangulär öppning kan, såvida vattenytan nedströms överfallströskeln inte står högre än tröskelns krön, beräknas med Polenis formel

$$q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot b \cdot h^{1,5} \quad (5)$$

där q är avbördningen (m^3/s), μ är en dimensionslös avbördningskoefficient (benämns ibland utströmningskoefficient), b är överfallsvärnets bredd (m), g är accelerationen vid fritt fall ($9,81 \text{ m/s}^2$) och h är överfallshöjden (m). Med överfallshöjd avses i princip höjdskillnaden mellan värntröskelns krön och vattenytans höjdläge innan vattennivån börjat avsänkas närmast före värnöppningen. Är vattenhastigheten fram mot värnet inte så liten att den kan försummas, tillkommer en s.k. hastighetshöjd, definierad som $(\bar{v})^2/(2g)$, där \bar{v} (m/s) står för tillströmningshastighetens medeltal i kanaltvärsnittet (jämför Sandsborg, 1973b).

Om överfallsvärnet skall utnyttjas för noggranna mätningar av vattenföringen måste hastighetshöjdens inverkan på mätresultaten noga beaktas. Metoder för detta anvisas av Bos (1978) för olika typer av värn. För skarpkrönade överfallsvärn med eller utan s.k. sidoin snörningar presenteras här det av Kinds-vater & Carter (1957) framlagda formelsystemet. Bjerketorp (1984) har med hjälp av utjämningsfunktioner gett detta formelsystem en generellare och för datorberäkningar mer lämpad form.

Vid dimensionering av ett bräddavlopp behöver inte dess avbördningskapacitet beräknas med samma stora noggrannhet som erfordras för bestämning av avbördningen över ett mätvärn. Däremot är det viktigt att ha ett praktiskt och lätthanterligt system för dimensioneringsberäkningen. Man bör därför här i många fall kunna beakta en eventuell hastighetshöjds effekt på ett mer approximativt och förenklat sätt. Förutsättningen för detta är dock att tillloppskanalen är relativt kort, dvs. endast några få meter lång. Approximationen innebär att man tillåter sig att definiera överfallshöjden som nivåskillnaden mellan värntröskelns krön och vattenytan i lugnvattnet före tillloppskanalens början. Den verk samma överfallshöjden tenderar i denna approximativa metod att bli något överskattad, vilket dock om man så vill kan korrigeras genom en nedjustering av μ -värdet.

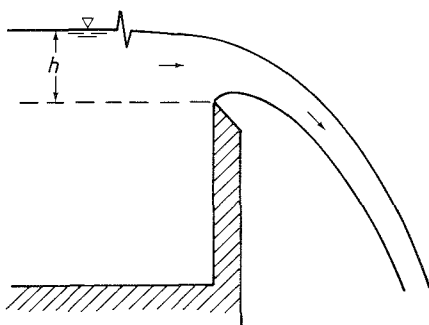


Fig. 29. Skarpkrönat överfallsvärn.
Sharp-crested weir.

Avbördningskoefficienten, μ , är starkt beroende av värntröskelns utformning. För ett skarpkrönat värn (fig. 29) med luftad utströmning som dessutom inte hindras av högt vattenstånd nedströms, kan μ grovt approximativt sättas till 0,6, under de i föregående stycke givna förutsättningarna.

Principen för s.k. luftad utströmning är att luften i utrymmet bakom den utfallande vattenstrålen hela tiden har samma tryck som luften i omgivningen. Detta åstadkommes genom att utrymmet ifråga ständigt står i förbindelse med atmosfären, antingen från sidorna eller via särskilda luftningsanordningar. Sker utströmningen inte under luftade betingelser uppstår bakom strålen ett undertryck som får den att ligga an mot värntröskelns nedströmssida eller att börja pulsera. Undertrycket medför visserligen att μ -värdet ökar något, men eftersom skador kan uppstå genom erosion eller på grund av de vibrationer som följer av vattnets pulsering, så bör en luftad utströmning i princip eftersträvas.

Enligt en definition som ges av Govinda Rao & Muralidhar (1963) är ett överfallsvärn skarpkrönat om $h \geq c \cdot L$. Beteckningen L avser tröskeltjockleken i meter och c är en proportionalitetsfaktor. Det förutsättes att värnöppningens sidor är lodräta, att tröskelplanet är vågrätt och att tröskelns uppströmskant är skarp (rätvinklig). Storleken av faktorn c är beroende av tillströmningshastigheten, \bar{v} . Som lägsta c -värde anges 1,51, vilket fås då tillströmningshastigheten ligger nära noll.

Värn som uppfyller villkoret $c > h/L \geq 0,4$ kallas av Govinda Rao & Muralidhar (1963) smalkrönade. Inom h/L -intervallet för smalkrönade värn sjunker μ -värdet linjärt från omkring 0,6 till i runt tal 0,5. Ligger h/L i intervallet $0,4 > h/L \geq 0,1$ benämnes värnet bredkrönat. Avbördningskoefficienten är här approximativt konstant cirka 0,5. Om $h/L < 0,1$ kallas värnet långkrönat. Avbördningskoefficienten sjunker i detta definitionsområde återigen med avtagande värde på kvoten h/L .

Ifall ett smal-, bred- eller långkrönat värn ges en avrundad uppströmskant erhålles ett större μ -värde än det som gäller för motsvarande värn med skarp uppströmskant. Harrison (1969) visar att kantavrundningens krökningsradie måste vara minst $0,11 \cdot h$ för att strömningen över uppströmskanten skall vara hydrauliskt gynnsam. Ligger krökningsradien vid det givna minimumvärdet, $0,11 \cdot h$, kan μ -värdet antas vara ungefär 10 % större än om värnet haft skarp uppströmskant (jämför Press & Schröder, 1966 och Ministère de l'Agriculture, 1977).

En fullständig halvcirkelformig avrundning av utskovströskeln i hela dess tjocklek (krökningsradie: $0,5 \cdot L$) medför i förhållande till värn med skarp uppströmskant att μ -värdet ökar med 20-30 % eller mer, alltefter tröskeltjocklek samt utströmningsform (jämför Rouvé & Indlekofer, 1974). Ges värnströskeln den form som undersidan av en fritt utfallande, luftad stråle beskriver (fig. 30), blir μ -värdet drygt 0,7.

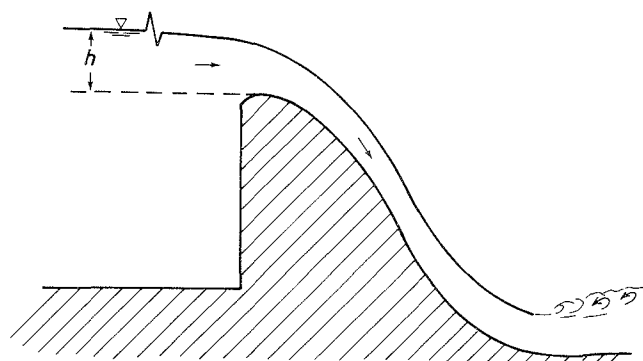


Fig. 30. Strömlinjeformat överfallsvärn.
Nappe-shaped crest profile.

6.2.2. Bräddavlopp med kulvert genom fördämningen

Är den dimensionerande vattenföringen liten kan det ibland vara fördelaktigt att leda bräddningsvattnet i en sluten kulvert genom fördämningen (fig. 31). För att i görligaste mån undvika skador på denna ledning förorsakade av sättningar bör den läggas i fast mark. Denna placering av kulverten medför i de flesta fall att ett särskilt intagsschakt i vallens uppströmsslänt erfordras. Intagsschaktet kan bestå av ett korrugerat metallrör eller av några tätfogade brunnringar av betong. Schaktet kan även utföras av spontat trävirke. Beträffande utloppsledningens konstruktion hänvisas till avsnitt 6.1.

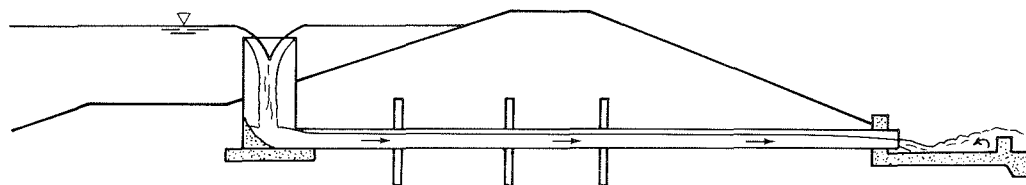


Fig. 31. Bräddavlopp med kulvert genom fördämningen.
Drop-inlet pipe spillway.

Det principiella samband mellan överfallshöjd, h , och avbördning, q , som råder för bräddavlopp genom kulvert genom fördämningen framgår av fig. 32. Alltefter

vilken del av systemet som begränsar genomströmningen följer sambandet mellan h och q olika funktioner.

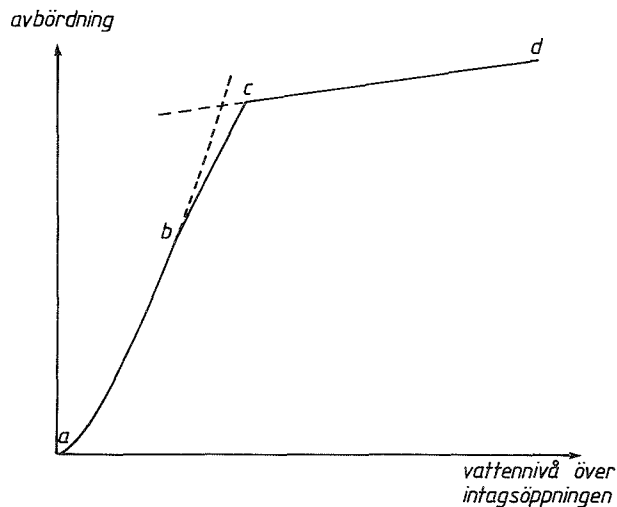


Fig. 32. Principdiagram över avbördningen som funktion av vattennivån över intagsöppningen för ett bräddavlopp med kulvert genom fördämningen.

Discharge characteristics of a drop-inlet pipe spillway.

Så länge vattenytan i dammbassängen befinner sig på en relativt måttlig höjd över intagsöppningens tröskel fungerar bräddavloppet i allt väsentligt som ett vanligt rektangulärt överfallsvärn. Till följd härav kan Polenis formel (5) anses gälla. Denna situation motsvaras av kurvdelen a-b i fig. 32. Beteckningen b i formel (5) står i detta sammanhang för längden av intagsöppningens omkrets. Är öppningen cirkulär, som t.ex. när schaktet består av brunnsringar, utbytes således b mot $2 \cdot \pi \cdot r$, där r är intagsöppningens radie.

Utan speciella korrektioner gäller Polenis formel endast så länge utströmningen kan ske helt obehindrat. För en horisontellt liggande cirkulär och skarpkrönad intagsöppning gäller Polenis formel med en avbördningskoefficient av cirka 0,6 så länge förhållandet mellan överfallshöjden och schaktöppningens radie, h/r , understiger 0,45 (Bollrich, 1965). Vid överfallshöjder större än 0,45 gånger radien gäller i princip inte Polenis formel, eftersom inströmningen då i successivt ökande grad begränsas av att den cirkulära strålriddan inte kan falla fritt. Den sammanflyter nämligen allt högre upp i schaktet (fig. 33). Schaktöppningens tvärsnittsarea är här begränsande för inflödet. Avbördningen stiger inte längre lika snabbt med överfallshöjdens ökning; se kurvdelen b-c i principdiagrammet (fig. 32). Polenis formel kan emellertid trots detta användas även här, under förutsättning att avbördningskoefficientens värde kraftigt korrigeras nedåt. Diagrammet i fig. 34 visar av-

bördningskoefficienten som funktion av kvoten mellan överfallshöjden och schaktöppningens radie.

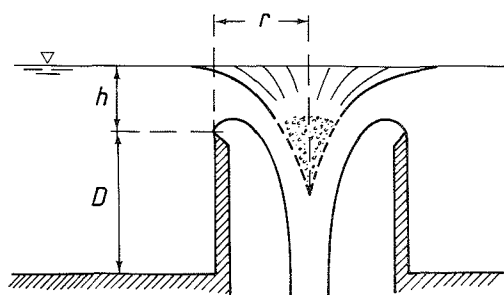


Fig. 33. Vattnets inströmning i ett skarpkrönat, cirkulärt intagsschakt (efter Bollrich, 1965).
Flow into a sharp-crested, circular weir.

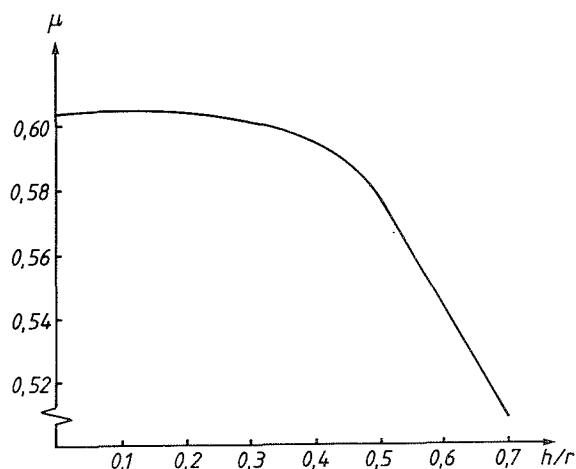


Fig. 34. Avbördningskoefficienten, μ , för ett cirkulärt intagsschakt med skarpkrönat överfallströskel. Koefficienten tecknas som funktion av h/r . Diagrammet gäller då $D \geq r$. Beteckningar enl. fig. 33 (efter Bollrich, 1965).
The discharge coefficient, μ , as a function of h/r for a sharp-crested, circular shaft to a drop-inlet spillway. The graph is valid when $D \geq r$. Symbols according to Fig. 33.

Skulle inte schaktet, utan den vattenavledande kulverten, vara begränsande för genomströmningen kan det inträffa att man får en uppdämning som leder till att vattennivån stiger i schaktet. Är stigningen tillräckligt stor kommer avbördningen att övergå till att följa en funktion där flödet är proportionellt mot roten ur den effektiva tryckhöjden. Med effektiv tryckhöjd förstås här höjdskillnaden mellan dammbassängens vattenstånd och vattenståndet vid kulvertens utlopp reducerad med tryckhöjdsbortfall orsakade dels av inströmnings- och utströmningsförluster, dels av friktionsförluster i schaktet och förluster vid s.k. särskilda motstånd i slutna ledningar. Exempel på särskilda motstånd i

slutna ledningar är sektionsförändringar, krökar och ventiler (Reinius, 1968a; Sandsborg, 1973a). I principdiagrammet, fig. 32, motsvaras det kulvertbestämda strömningstillståndet av linjen c-d.

I den praktiska tillämpningen bör eftersträvas att bräddavlopp av schaktmodell dimensioneras så att den bestämmande vattenföringen kan strömma fritt över överfallströskeln.

Ett bräddavlopp med intagsschakt och kulvert genom fördämningen kan ofta i en och samma konstruktion kombineras med ett bottenutskov (fig. 35).

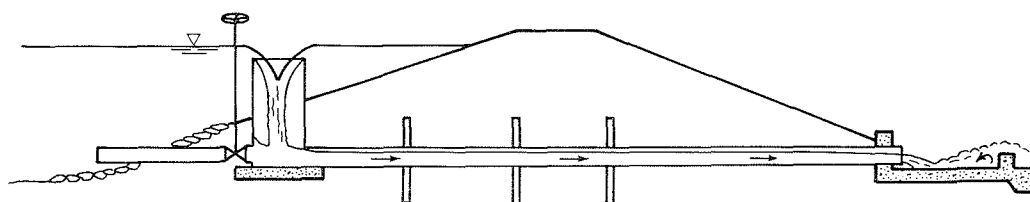


Fig. 35. Kombinerat bräddavlopp och bottenutskov.
Combined overflow spillway and bottom outlet.

6.2.3. Sekundärt bräddavlopp

Det kan ibland vara fördelaktigt att förse en dammanläggning med två bräddavlopp. Det ena, det primära, dimensioneras då så att det förmår avbörda alla mer frekvent förekommande högvattenföringar, medan det andra, det sekundära, skall träda i funktion endast i samband med extremt stora högvattenföringar samt om det primära bräddavloppet av någon anledning skulle blockeras. Tröskeln i det primära bräddavloppet placeras således något lägre än tröskelnivån i det sekundära. På grund av att det sekundära bräddavloppet mycket sällan kommer att vara i bruk, kan det utformas mera primitivt än det bräddavlopp som oftare är utsatt för det rinnande vattnets erosiva verkan.

Ibland kan en naturlig svacka i terrängen utnyttjas vid anordnandet av det sekundära bräddavloppet. Därvid kan eventuellt förstärkningsåtgärder behöva vidtas för att säkerställa att vattnet utan nämnvärde erosionsrisk kan ledas förbi fördämningen. Måste en kanal grävas eller andra schaktningsarbeten utföras bör detta ske i ej tidigare omgrävd mark. I syfte att binda jordmaterialet i kanalens begränsningsytor bör dessa besås med gräs. Sekundäravloppet placeras fritt i förhållande till vallen, så att en eventuell erosion inte leder till underminering av fördämningen.

LITTERATUR

- Bjerketorp, A. 1983a. Nederbördens statistiska fördelning vid några svenska mätstationer. - Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Opublicerat material.
- Bjerketorp, A. 1983b. Preliminärt förslag till skattningsformler för $k_{10} = Q(T=10)/\bar{Q} = f(\bar{q}')$. - Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Manuskript.
- Bjerketorp, A. 1983c. Provisoriskt formelsystem för skattning av dimensionerande vattenföring vid låg risknivå. - Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Manuskript.
- Bjerketorp, A. 1984. Förslag till mer generell tillämpning av Kindsvater & Carters värnformel. - Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Manuskript.
- Bollrich, G. 1965. Berechnung und Gestaltung der Einläufe von Schachtüberfällen. - Wasserwirtschaft-Wassertechnik 15:3, s. 92-97.
- Bos, M.G. (red.) 1978. Discharge measurement structures, 2:a uppl. - International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. Publication 20. 464 s.
- Creager, W.P., Justin, J.D. & Hinds, J. 1945. Engineering for dams. In three volumes, 929 s. London.
- Eriksson, B. 1981. Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige. - Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Norrköping. SMHI Rapporter, Meteorologi och klimatologi (RMK) 28. 40 s.
- Fagerström, H. & Wiesel, C-E. 1972. Permeabilitet och kapillaritet. - Statens Institut för Byggnadsforskning, Stockholm. Byggnadsforskningens informationsblad B7:1972. 44 s.
- Forssblad, L. 1967. Packning av jord- och stenfyllningar. 78 s. Sundbyberg.
- Govinda Rao, N.S. & Muralidhar, D. 1963. Discharge characteristics of weirs of finite-crest width. - La Houille Blanche 18:5, s. 537-545.
- Harrison, A.J.M. 1969. The streamlined broad-crested weir. - Institution of Civil Engineers, London. Proceedings 38, s. 657-678.
- Institut für Wasserwirtschaft. 1975. Empfehlung für die Vorbereitung, den Bau und Betrieb von wasserwirtschaftlichen Kleinspeichern. - Institut für Wasserwirtschaft, Berlin. Mitteilungen Heft 39. 133 s.
- Kindsvater, C.E. & Carter, R.W. 1957. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs. - American Society of Civil Engineers (ASCE), New York. Hydraulics Division, Journal 83:HY6, s. 1453:1-1453:36. Finns också i: ASCE, Transactions 124(1959), s. 772-801.
- Ministere de l'Agriculture. 1977. Technique des barrages en aménagement rural. 325 s. Paris.
- Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1977. Water for irrigation. Supply and storage, 2:a uppl. - Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London. Bulletin 202. 100 s.
- Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen. 1982. Små dammer. Veiledning for planlegging, bygging og vedlikehold. 108 s. Oslo.
- Press, H. & Schröder, R. 1966. Hydromechanik im Wasserbau. 548 s. Berlin & München.
- Reinius, E. 1968a. Vattenbyggnad del 1. Hydraulik. 175 s. Stockholm.

- Reinius, E. 1968b. Vattenbyggnad del 3. Dambyggnader. 178 s. Stockholm.
- Reinius, E. 1969. Vattenbyggnad del 2. Hydrologi och vattenreglering. 180 s. Stockholm.
- Rouv , G. & Indlekofer, H. 1974. Abfluss  ber geradlinige Wehre mit halbkreisf rmigem  berfallprofil. - Der Bauingenieur 49:7, s. 250-256.
- Sandsborg, J. 1973a. Kompendium i elementär hydromekanik I: Hydromekanikens grunder. - Lantbrukshögskolan, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck 65. 210 s.
- Sandsborg, J. 1973b. Kompendium i elementär hydromekanik II: Hydromekanikens tillämpning. - Lantbrukshögskolan, Uppsala. Avd. för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck 66. 116 s.
- Schaef, H.J. (red.) 1972. Wasserbereitstellung zur Bew sserung. 399 s. Berlin.
- Schwab, G.O., Frevert, R.K., Edminster, T.W. & Barnes, K.K. 1966. Soil and water conservation engineering, 2:a uppl. 683 s. New York.
- Sowers, G.F. 1979. Introductory soil mechanics and foundations, 4:e uppl. 621 s. New York.
- Statens Vattenfallsverk. 1958. Anvisningar för utförande och kontroll av jorrdammar, 2:a uppl. Stockholm.
- Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. 1979. Vattenföring i Sverige. 403 s. Stockholm.
- Tryselius, O. 1971. Runoff map of Sweden: average annual runoff for the period 1931-1960. - Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Stockholm. Meddelanden Serie C, N:o 7.
- United States Bureau of Reclamation. 1973. Design of small dams, 2:a uppl. 816 s. Washington.
- United States Department of Agriculture. 1969. Engineering field manual for conservation practices. Soil Conservation Service, Washington.
- United States Department of Agriculture. 1982. Ponds - Planning, design, construction. - Soil Conservation Service. Agricultural Handbook, N:o 590. 51 s. Washington.

Bilaga 1

EMPIRISKT FORMELSYSTEM FÖR SKATTNING AV DIMENSIONERANDE HÖGVATTENFÖRING VID LÅG RISKNIVÅ

Formelsystemet har utarbetats av agr. lic. Anders Bjerketorp vid Sveriges Lantbruksuniversitet. Skattningsformlerna utgör anpassningar av funktioner till resultat av vattenföringsmätningar huvudsakligen i Götaland och östra Svealand. Den med formelsystemet beräknade vattenföringen avser en hög-vattenföringen med en återkomsttid (ett rekurrensintervall) av cirka 100 år.

Beteckningar:

q'_{100} Specifik högvattenföring med ett rekurrensintervall av cirka 100 år
($\text{m}^3/\text{s km}^2$)

q_{100} Högvattenföring med ett rekurrensintervall av cirka 100 år (m^3/s)

ϕ Grundfunktion vid beräkning av q'_{100}

k_1 Korrektionsfaktor för specifik medelvattenföring

k_2 "- "- sjöandel

k_3 "- "- andel öppen mark

A Tillrinningsområdets totala ytvidd (km^2)

\bar{q}' Områdets specifika medelvattenföring ($\text{m}^3/\text{s km}^2$). Värdet på \bar{q}' kan erhållas t.ex. från Tryselius (1971).

s Sjöareal i förhållande till områdets hela ytvidd (%). Är sjöarealen ojämnt fördelad inom tillrinningsområdet, kan s behöva viktas. Viktningen tillgår så att s multipliceras med en faktor 1,1 à 1,2 ifall sjöarealen är ansamlad i områdets nedre delar. Ligger hela sjöarealen invid områdets utloppspunkt (dimensioneringspunkten) bör s räknas upp med faktorn 1,3. Är större delen av sjöarealen perifert belägen bör s i stället minskas genom att multipliceras med en faktor 0,8 à 0,9, i särskilt extrema fall 0,7.

M Arealen "öppen mark" i förhållande till områdets hela ytvidd (%). Med "öppen mark" avses här ytor som ej täcks av skog, myrmark eller sjö. Före summering av arealen öppen mark bör arealen hållmark multipliceras med 3 och arealen hårdgjorda ytor med 6.

Formelöversikt:

$$q_{100} = q'_{100} \cdot A;$$

$$q'_{100} = \varphi \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3;$$

$$\varphi = 0,7 \cdot \left(\frac{1,0}{\sqrt{A+1,0}} + 0,1 \right);$$

$$k_1 = 1,0 + \left(1,0 - \frac{1,0}{2,0 \sqrt{A+1,0}} \right) \cdot \frac{\bar{q}' - 0,005}{0,005}; \quad (k_1=1 \text{ då } \bar{q}'=0,005 \text{ m}^3/\text{s km}^2)$$

$$k_2 = 0,1 + \frac{1,8}{1,0 + \exp(0,11 \cdot s)}; \quad *) \quad (k_2=1 \text{ då } s=0 \%)$$

$$k_3 = 1,0 - \left(0,5 + \frac{1,0}{1,0 + \exp(-0,1(10 - \sqrt{A+100}))} \right) \cdot \frac{0,8}{1,0 + \exp(0,14 \cdot s)} \cdot (1,0 - 0,01 \cdot M)$$

($k_3=1$ då $M=100 \%$)

Giltighetsvillkor:

$$1 \leq A \leq 2000 \text{ km}^2$$

$$0,005 \leq \bar{q}' \leq 0,020 \text{ m}^3/\text{s km}^2$$

$$0 \leq s \leq 25 \%$$

$$M \geq 0 \%$$

Formelsystemet gäller för avrinningsområden belägna i Götaland, östra Svealand och sydligaste delen av västra Svealand, eller mer precist söder om en linje från Gävle till Strömstad.

Giltigheten kan begränsas av extrema topografiska eller geologiska förhållanden. Exempelvis kan en uppsprucken berggrund medföra att stora delar av avrinningsvattnet söker sig förbi dimensioneringspunkten längs sprickzoner under markytan. Detta är särskilt vanligt på Öland och Gotland. Ett annat exempel utgör områden med grovtexturella glacifluviala avlagringar, där ytavrinningen begränsas på grund av markens exceptionellt goda infiltrationsförmåga.

*) Uttrycket "exp(argument)" har samma betydelse som " $e^{(\text{argument})}$ ".

Exemplifierande tabeller

Några exempel på värden erhållna vid tillämpning av empiriskt formelsystem (Bjerketorp, 1983c) för approximativ beräkning av dimensionerande specifik vattenföring, q'_{100} (Rekurrensintervall: cirka 100 år).

Tabell B1:1

$s = 5 \%$

$M = 30 \%$

A (km ²)	\bar{q}' (m ³ /s km ²)	ϕ	k_1	k_2	k_3	q'_{100} (m ³ /s km ²)
5	0,005	0,356	1,000	0,759	0,815	0,220
	0,007	0,356	1,318	0,759	0,815	0,290
	0,010	0,356	1,796	0,759	0,815	0,395
20	0,005	0,223	1,000	0,759	0,819	0,138
	0,007	0,223	1,356	0,759	0,819	0,188
	0,010	0,223	1,891	0,759	0,819	0,262
100	0,005	0,140	1,000	0,759	0,833	0,088
	0,007	0,140	1,380	0,759	0,833	0,122
	0,010	0,140	1,950	0,759	0,833	0,172

Tabell B1:2

$\bar{q}' = 0,007 \text{ m}^3/\text{s km}^2$

$M = 30 \%$

A (km ²)	s (%)	ϕ	k_1	k_2	k_3	q'_{100} (m ³ /s km ²)
5	0	0,356	1,318	1,000	0,722	0,339
	5	0,356	1,318	0,759	0,815	0,290
	15	0,356	1,318	0,390	0,939	0,172
20	0	0,223	1,356	1,000	0,727	0,220
	5	0,223	1,356	0,759	0,819	0,188
	15	0,223	1,356	0,390	0,940	0,111
100	0	0,140	1,380	1,000	0,749	0,144
	5	0,140	1,380	0,759	0,833	0,122
	15	0,140	1,380	0,390	0,945	0,071

Tabell B1:3

$\bar{q}' = 0,007 \text{ m}^3/\text{s km}^2$

$s = 5 \%$

A (km ²)	M (%)	ϕ	k_1	k_2	k_3	q'_{100} (m ³ /s km ²)
5	0	0,356	1,318	0,759	0,736	0,262
	30	0,356	1,318	0,759	0,815	0,290
	80	0,356	1,318	0,759	0,947	0,337
20	0	0,223	1,356	0,759	0,741	0,170
	30	0,230	1,356	0,759	0,819	0,188
	80	0,223	1,356	0,759	0,948	0,217
100	0	0,140	1,380	0,759	0,762	0,111
	30	0,140	1,380	0,759	0,833	0,122
	80	0,140	1,380	0,759	0,952	0,139

PROGRAM FÖR BERÄKNING AV DIMENSIONERANDE HÖGVATTENFÖRING MED HJÄLP AV FICK-RÄKNARE AV TYPEN HP-41 C/HP-41 CV.

För programmet har använts Bjerketorps (1983c) formelsystem för skattning av dimensionerande högvattenföring vid låg risknivå (rekurrensintervall cirka 100 år). Sedan räknaren programmerats kan man lätt utföra beräkningar av den dimensionerande högvattenföringen vid olika dammlägen samt studera hur ändringar eller eventuella felaktiga bestämningar av olika ingående parametrar påverkar den beräknade vattenföringen.

INSTRUKTIONER

1. Programmet beordras fram ur programminnet med instruktionen $\boxed{\text{XEQ}}$ $\boxed{\text{ALPHA}}$ DIMQ $\boxed{\text{ALPHA}}$, varvid programexekveringen direkt startas.
2. Räknaren "frågar" efter indata enligt nedan:¹⁾
 - "YTVIDD?" Besvara genom att via tangentbordet ange tillrinningsområdets ytvidd i km^2 och tryck på $\boxed{\text{R/S}}$.
 - "MEDEL-Q?" Ange områdets specifika medelvattenföring i $\text{m}^3/\text{s km}^2$. Tryck på $\boxed{\text{R/S}}$.
 - "SJØ - %?" Ange sjöarealen (ev. viktad med hänsyn till sjöarnas läge inom området) i procent av områdets ytvidd. Tryck på $\boxed{\text{R/S}}$.
 - "ØPPEN MARK %" Ange arealen öppen mark (ev. viktad med hänsyn till andelen hållmark och hårdgjorda ytor) i procent av områdets ytvidd. Tryck på $\boxed{\text{R/S}}$.
3. Beräkningsresultaten presenteras på följande sätt:²⁾
 - "Q,SPEC=1,234" vilket avser den specifika högvattenföringen med ett rekurrensintervall av cirka 100 år ($\text{m}^3/\text{s km}^2$). Genom en ytterligare tryckning på $\boxed{\text{R/S}}$ erhålls
 - "Q,DIM=5,678" vilket avser den dimensionerande högvattenföringen för det aktuella området (m^3/s).
4. Önskar man veta de olika delresultaten (grundfunktionen och de olika korrektionsfaktorerna) erhålls dessa genom successiva tryckningar på $\boxed{\text{R/S}}$.³⁾
I annat fall kan ny beräkning påbörjas genom tryckning på $\boxed{\text{A}}$ varvid räknaren börjar "fråga" efter nya indata. Detta kan för övrigt göras när som helst medan programvisaren befinner sig inom programfilen DIMQ.

-
- 1) Om ett utgångsvärde är gemensamt för flera beräkningar behöver detta endast anges för den första beräkningen. Den aktuella "frågan" kan därefter passeras genom att man direkt trycker på $\boxed{\text{R/S}}$ utan att röra sifvertangenterna.
 - 2) Resultaten presenteras direkt efter att alla "indata-frågorna" besvarats, men kan också åter beordras fram genom tryckning på $\boxed{\text{E}}$.
 - 3) F<GR>=grundfunktionens värde
F<MQ>=korrektionsfaktorn för medelvattenföring
F<S>=korrektionsfaktorn för sjöandel
F<M>=korrektionsfaktorn för andel öppen mark.

PROGRAMLISTA

01*LBL "DIMQ"	Frågar användaren efter	65 ,1	
02*LBL A	områdets ytvidd	66 *	
03 CF 22		67 CHS	
04 "YTVIDD"		68 E+X	
05 PROMPT		69 1	
06 FS?C 22		70 +	
07 STO 10		71 1/X	
08 RCL 10	Beräknar grundfunktionen	72 ,5	
09 1		73 +	
10 +		74 RCL 12	
11 SØRT		75 ,14	
12 1/X		76 *	
13 STO 01		77 E+X	
14 ,1		78 1	
15 +		79 +	
16 ,7		80 1/X	
17 *		81 ,8	
18 STO 20		82 *	
19 "MEDEL-Q?"	Frågar användaren efter	83 *	
20 PROMPT	områdets specifika	84 RCL 13	
21 FS?C 22	medelvattenföring	85 ,01	
22 STO 11		86 *	
23 RCL 01	Beräknar korr.faktorn	87 CHS	
24 2	för medelvattenföring	88 1	
25 /		89 +	
26 CHS		90 *	
27 1		91 CHS	
28 +		92 1	
29 RCL 11		93 +	
30 ,005		94 STO 23	
31 -		95*LBL E	Multiplicerar samman
32 ,005		96 RCL 20	grundfunktionen och de
33 /		97 RCL 21	olika korr.faktorerna
34 *		98 RCL 22	
35 1		99 RCL 23	
36 +		100 *	
37 STO 21		101 *	
38 "SJO-X?"	Frågar användaren efter	102 *	
39 PROMPT	områdets sjöandel	103 "Q,SPEC="	Presenterar den speci-
40 FS?C 22		104 ARCL X	fika högvattenföringen
41 STO 12		105 AVIEW	
42 RCL 12	Beräknar korr.faktorn	106 STOP	
43 ,11	för sjöandel	107 RCL 10	Multiplicerar med ytan
44 *		108 *	
45 E+X		109 "Q,DIM="	Presenterar områdets
46 1		110 ARCL X	dimensionerande hög-
47 +		111 AVIEW	vattenföring
48 1/X		112 STOP	
49 1,8		113 "F<GR>="	Presenterar de olika
50 *		114 ARCL 20	delresultaten
51 ,1		115 AVIEW	
52 +		116 STOP	
53 STO 22		117 "F<MQ>="	
54 "ØPPEN MARK % ?"	Frågar användaren	118 ARCL 21	
55 PROMPT	efter andelen öppen mark	119 AVIEW	
56 FS?C 22		120 STOP	
57 STO 13		121 "F<S>="	
58 RCL 10	Beräknar korr.faktorn	122 ARCL 22	
59 100	för andel öppen mark	123 AVIEW	
60 +		124 STOP	
61 SØRT		125 "F<M>="	
62 CHS		126 ARCL 23	
63 10		127 AVIEW	
64 +		128 .END.	

Förteckning över utgivna häften i publikationsserien

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET, UPPSALA. INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP.
AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK. RAPPORTER.

- 104 Andersson, S. & Wiklert, P. 1977. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktsammanställning. Del II. Norrbottens, Västerbottens, Västernorrlands och Jämtlands län. 98 s.
- 105 Andersson, S. & Wiklert, P. 1977. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktsammanställning. Del III. Gävleborgs, Kopparbergs och Värmlands län. 89 s.
- 106 Andersson, S. & Wiklert, P. 1977. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktsammanställning. Del IV. Älvsborgs och Göteborgs- och Bohus län. 72 s.
- 107 Jonsson, E. 1977. Bevattning med förorenat vatten. Hygieniska risker för människor och djur. En litteraturstudie. 30 s.
- 108 Berglund, G., Håkansson, A. & Eriksson, J. 1978. Om dikningsintensiteten vid dränering av åkerjord. Resultat av fältförsök med olika dikesavstånd. IX: Västernorrlands, Jämtlands, Västerbottens och Norrbottens län. 104 s.
- 109 Bjerketorp, A. & Klingspor, P. 1978 (1982). Inventering av avrinningen inom regioner med stor jordbruksbevattning. Faktaredovisning. 1: Kalmar län. 66 s. (109a. Korrigerat nytryck 1982. 66 s.).
- 110 Lundegrén, J. & Nilsson, S. 1978. Bevattningssamverkan. Förutsättningar och olika associationsformer. 27 s.
- 111 Berglund, G. m.fl. 1978. Resultat av 1977 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 98 s.
- 112 Forsling, A. & Borgblad, M. 1978. Konflikten mellan jordbruket och naturvården i markavvattningsfrågor. 58 s.
- 113 Linnér, H. 1978. Vatten- och kvävehushållningen vid bevattning av en sandjord. 16 s.
- 114 Ingvarsson, A. 1978. Bevattningsförsök inom trädgårdsområdet i Norden. Sammanfattning av försöksresultat publicerade t.o.m. 1977/78.
- 115 Ingvarsson, A. 1978. Bevattning i fältmässig trädgårdsodling - Teknik och ekonomi. 45 s.
- 116 Berglund, G. 1978. Frosthävningens inverkan på dräneringsledningar. 59 s.
- 117 Berglund, G. 1979. De odlade jordarna i Uppsala län, deras geografiska fördelning och fördelning på jordarter. 42 s.
- 118 Berglund, G. m.fl. 1979. Resultat av 1978 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 98 s.
- 119 Valegård, A. & Persson, R. 1981. Optimering av större ledningssystem för bevattning. 49 s.
- 120 Berglund, G. m.fl. 1980. Resultat av 1979 års fältförsök avseende täckdikning, övrig grundförbättring och bevattning. 93 s.
- 121A Bjerketorp, A. 1982. Inventering av avrinningen inom regioner med stor jordbruksbevattning. 2A: Deskriptiv behandling av grunddata från Kristianstads län.
- 121B Bjerketorp, A. 1982. Inventering av avrinningen inom regioner med stor jordbruksbevattning. 2B: Resultat och slutsatser avseende Kristianstads län.

- 122 Berglund, G., Håkansson, A. & Eriksson, J. 1980. Om dikningsintensiteten vid dränering av åkerjord. Resultat av fältförsök med olika dikesavstånd. III. Jönköpings, Kronobergs, Kalmar och Gotlands län. 68 s.
- 123 Johansson, W. 1980. Bevattning och kvävegödsling till gräsvall. 83 s.
- 124 Heiwall, H. 1980. Underbevattning. Studier av grödans tillväxt och vattenförbrukning vid olika djup till grundvattenytan på en sandig grovmo. 17 s.
- 125 Berglund, K. 1982. Beskrivning av fem myrjordsprofiler från Gotland. 55 s.
- 126 Eriksson, J. 1982. Markpackning och rotmiljö. Packningsbenägenheten hos svenska åkerjordar. Förändringar i markens funktion orsakade av packning. 138 s.
- 127 Erpenbeck, J.M. 1982. Irrigation Scheduling. A review of techniques and adaption of the USDA Irrigation Scheduling Computer Program for Swedish conditions. 135 s.
- 128 Berglund, K. & Björck, R. 1982. Om skördekadorna i Värmlands län 1981.
Linnér, H. 1982. Växtnäringsbevattning.
Eriksson, J. 1982. A field method to check subsurface-drainage efficiency.
- 129 Karlsson, I. 1982. Soil moisture investigation and classification of seven soils in the Mbeya region, Tanzania. 56 s.
- 130 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del V. Skaraborgs län. 130 s.
- 131 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del VI. Örebro och Västmanlands län. 82 s.
- 132 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del I. Ultuna, Uppsala län. 125 s.
- 133 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del VII. Uppsala län. 140 s.
- 134 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del VIII. Stockholms, Södermanlands och Östergötlands län. 122 s.
- 135 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del IX. Hallands, Jönköpings, Kronobergs, Kalmar och Gotlands län. 104 s.
- 136 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del X. Malmöhus och Kristianstads län. 116 s.
- 137 Wiklert, P.† , Andersson, S. & Weidow, B. Bearbetning och publicering: Karlsson, I. & Håkansson, A. 1983. Studier av markprofiler i svenska åkerjordar. En faktasammanställning. Del XI. Kristianstads län. 110 s.

- 138 Berglund, G., Huhtasaari, C. & Ingevall, A. 1984. Dränering av jordar med rostproblem. 20 s.
Ingevall, A. 1984. Dränering av tryckvatten. 10 s.
- 139 Persson, R. 1984. Vattenmagasin för bevattning. 57 s.

I denna serie publiceras forsknings- och försöksresultat vid avdelningen för lantbrukets hydroteknik, Sveriges Lantbruksuniversitet. Tidigare nummer i serien redovisas längst bak i rapporten och kan i mån av tillgång anskaffas från avdelningen.

This series contains reports of research and field experiments from the Division of Agricultural Hydrotechnics, Department of Soil Sciences. Earlier issues are listed at the end of the report and can be ordered - if still in stock - from the Division of Agricultural Hydrotechnics.

DISTRIBUTION:

Sveriges Lantbruksuniversitet
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik
750 07 UPPSALA, Sweden

Tel. 018-171165, 171181
